

**PENGUNAAN *ETHYLENE DIAMINE TETRA ACETIC ACID* (EDTA)
DALAM LAPISAN ELEKTROPLATING CAMPURAN Zn-Ni-Fe PADA
SUBSTRAT Cu**



Disusun Oleh :

AMINAH

NIM. M0305013

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian
persyaratan mendapatkan gelar Sarjana Sains Kimia**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA**

Mei, 2011

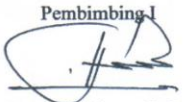
commit to user

HALAMAN PENGESAHAN


Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas
Sebelas Maret Surakarta telah mengesahkan skripsi mahasiswa:

Aminah NIM M0305013, dengan judul "Penggunaan *Ethylene Diamine Tetra Acetic Acid* (EDTA) Dalam Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe Pada Substrat Cu"

Skripsi ini dibimbing oleh :

Pembimbing I

Drs. Mudjijono, Ph.D.

NIP. 19540418 198601 1001

Pembimbing II

Candra Purrawan, M.Sc.

NIP. 19781228 200501 1001


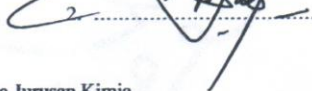
Dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi pada :

Hari : Kamis


Tanggal : 5 Mei 2011

Anggota Tim Penguji :

1. Dr. Sayekti Wahyuningsih, M.Si
NIP. 19711211 199702 2001
2. Dra. Tri Martini, M.Si
NIP. 19581029 198503 2002

1. 
2. 

Ketua Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Sebelas Maret Surakarta


Prof. Drs. Sentot Budi Rahardjo, Ph.D.
NIP. 19560507 198601 1001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “PENGUNAAN *ETHYLENE DIAMINE TETRA ACETIC ACID* (EDTA) DALAM LAPISAN ELEKTROPLATING CAMPURAN Zn-Ni-Fe PADA SUBSTRAT Cu” belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga belum pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Surakarta, 5 Mei 2011

AMINAH

commit to user

commit to user

**PENGUNAAN *ETHYLENE DIAMINE TETRA ACETIC ACID* (EDTA)
DALAM LAPISAN ELEKTROPLATING CAMPURAN Zn-Ni-Fe PADA
SUBSTRAT Cu**

AMINAH

Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Sebelas Maret

perpustakaan.uns.ac.id

digilib.uns.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai penggunaan *ethylene diamine tetra acetic acid* (EDTA) dalam sistem pelapisan multi campuran Zn-Ni-Fe pada substrat tembaga. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan konsentrasi EDTA terhadap karakteristik lapisan plating.

Elektrolisis dijalankan pada variasi potensial listrik sebesar 2,50; 3,00; 4,00 dan 5,00 volt selama 10 menit dengan suhu kamar (28 °C) dan jarak elektroda 5 cm serta variasi konsentrasi EDTA sebesar 0,000; 0,025; 0,050; 0,100 dan 0,200 mol/L. Lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe hasil elektrolisis dikarakterisasi terhadap tiga sifat yaitu: berat total lapisan plating dianalisis secara *gravimetric*, tekstur permukaan lapisan plating dianalisis secara mikroskopik dan uji kekerasan lapisan plating dianalisis secara *Vickers*. Pengaruh penggunaan EDTA ditentukan dengan metode *fitting* antara konsentrasi EDTA dengan nilai karakter terukur. Metode fitting yang dipilih berupa linier, eksponensial dan kuadrat.

Pengaruh konsentrasi EDTA (x) terhadap potensial kerja optimum (V_{opt}) dapat di *fitting* dengan persamaan kuadrat. Nilai optimum kurva kuadrat merupakan nilai optimum serentak dari konsentrasi EDTA dan potensial kerja. Untuk masing-masing karakter terukur berat total, ukuran butiran dan kekerasan, nilai $[EDTA]_{opt}$ dan V_{opt} berturut-turut 0,200 mol/L dan 12,157 volt; 0,087 mol/L dan 7,787 volt; 0,071 mol/L dan 5,960 volt.

Kata kunci : Lapisan Zn-Ni-Fe, potensial listrik, agen pengompleks EDTA, elektroplating

commit to user

**APPLICATION *ETHYLENE DIAMINE TETRA ACETIC ACID* (EDTA) IN
THE LAYER OF ELECTROPLATING Zn-Ni-Fe ALLOY AT
Cu SUBSTRATE**

AMINAH

Department of Chemistry, Mathematic and Natural Science Faculty, Sebelas

perpustakaan.uns.ac.id

digilib.uns.ac.id

Maret University

ABSTRACT

The application ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA) in the system of layering multi alloy Zn-Ni-Fe at copper substrate has been conducted. The purpose of this research is to find out addition the concentration of EDTA into plating layer characteristics.

Electrolysis was run on potential variation of 2.50; 3.00; 4.00; and 5.00 volts for 10 minutes with room temperature (28 °C), electrode distance 5 cm and various concentration of EDTA 0.000; 0.025; 0.050; 0.100 and 0.200 mol/L. Plating layer of Zn-Ni-Fe alloy, the result of electrolysis was characterized with three characteristics, that was: the total weight of the plating layer was analyzed gravimetrically, the texture of the surface layer of plating was analyzed microscopically and for hardness tests plating layer was analyzed by Vickers. Effect of the application of EDTA was determined by the fitting method, between concentrations of EDTA and the measured character value. The fitting method is linear, exponential and quadratic.

Effect concentration of EDTA (x) on optimum potential (V_{opt}) can be fitted with quadratic equations. The optimum value of the quadratic curve is a simultaneous optimum value of EDTA concentration and potential. For each character measured of total weight, size of grain and the hardness number, the value of [EDTA] and opt V_{opt} were 0.200 mol / L and 12.157 volts, 0.087 mol / L and 7.787 volts, 0.071 mol / L and 5.960 volt respectively.

commit to user

Keyword : layer of Zn-Ni-Fe, electric potential, complexing agent EDTA, Electroplating

commit to user

MOTTO

“Barang Siapa yang keluar dari rumah untuk belajar satu bab dari ilmu pengetahuan, maka ia telah berjalan fiie sabiilillah sampai ia kembali ke rumahnya.” (H. R Tarmizi dar Anas r.a)

أَخِي لَنْ تَنَالِ الْعِلْمَ إِلَّا بِسِتَّةِ سَائِبِيكَ عَنْ تَفْصِيلِهَا بَيَانٍ
ذِكَاءٌ وَحِرْصٌ وَاجْتِهَادٌ وَدِرْهَمٌ وَصُحْبَةُ أَسْتَاذٍ وَطُولُ زَمَانٍ

“wahai saudaraku, kalian tidak akan mendapatkan ilmu kecuali dengan 6 hal:

1. Kecerdasan – ذِكَاءٌ
2. Kethoma'an (terhadap ilmu) – حِرْصٌ
3. Kesungguhan – اجْتِهَادٌ
4. Harta benda (bekal) – دِرْهَمٌ
5. Dekat dengan guru – صُحْبَةُ أَسْتَاذٍ
6. Waktu yang panjang – طُولُ زَمَانٍ.” (Imam Syafi’i)

“Pengetahuan adalah warisan yang mulia, budi pekerti ibarat pakaian yang baru dan pikiran ibarat cermin yang bening (jernih).” (Ali bin Abi Thalib r.a)

commit to user

commit to user

PERSEMBAHAN



Dengan penuh rasa syukur kepada Allah S. W. T., Karya sederhana ini
kupersembahkan teruntuk:

✚ Keluargaku..... (segalanya di dalam hidupku)

✚ Masa depanku.....

✚ Semua sahabat yang selalu mengisi hari-hariku

commit to user

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin, berkat ridho, rahmat dan hidayah Allah, penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “PENGUNAAN *ETHYLENE DIAMINE TETRA ACETIC ACID* (EDTA) DALAM LAPISAN ELEKTROPLATING CAMPURAN Zn-Ni-Fe PADA SUBSTRAT Cu” untuk memenuhi sebagian persyaratan guna mencapai gelar Sarjana Sains dari Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret. Sholawat serta salam penulis persembahkan kepada sang revolusioner sejati yang telah mengantarkan kita semua menjadi manusia yang beradab dan berpendidikan melalui ajaran dan keilmuan yang disampaikan dalam Al-Qur'an dan Al-Hadist.

Penulis menyadari secara penuh bahwa skripsi ini tidak akan berjalan secara tuntas tanpa adanya motivasi, arahan dan bimbingan dari banyak pihak, oleh karena itu dengan segenap kerendahan hati dan iringan do'a “*Jazakumullah khoiru Jazza*” penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya yang tanpa batas ruang dan waktu yang tak dapat dihitung jumlahnya sampai akhir zaman kepada kita semua yang beriman.
2. Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga dan para sahabatnya yang telah memberi contoh dan suri tauladan dalam menggapai kebahagiaan hidup di dunia dan di akhirat.
3. Bapak Prof. Drs. Sutarno, M.Sc. PhD. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret.
4. Bapak Prof. Drs. Sentot Budi Rahardjo, Ph.D selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA UNS beserta seluruh stafnya.
5. Bapak Drs. Mudjijono, PhD selaku Pembimbing I yang telah membimbing penulis selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi.
6. Bapak Candra Purnawan, M.Sc. Selaku Pembimbing II yang juga telah memberikan bimbingannya dalam penelitian dan penyusunan skripsi.

commit to user

7. Ibu Dra. Tri Martini, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan waktu serta bimbinganya.
8. Bapak Dr. rer. nat. Atmanto Heru Wibowo, M.Si. Selaku Ketua Sub Laboratorium Kimia Pusat UNS beserta seluruh stafnya.
9. Bapak/Ibu Dosen di Jurusan Kimia, FMIPA UNS atas seluruh ilmu dan pengetahuan yang telah diajarkan.
10. Mama Zaenah Syahab dan Baba Jamalludin Assegaf tercinta yang senantiasa dengan kebesaran hatinya memberikan dukungan dan dorongan baik moril, materiil maupun spiritual *thanks for all* semoga kalian sehat selalu, panjang umur, banyak rejeki, dikuatkan iman Islamnya dan bisa melihat anak-anakmu sukses dan takan kulupakan pengorbanan kalian yang begitu besarnya pada anak-anak mu ini, amin.
11. Adik-adikku tersayang “Ahmad, Hanan, dan Abdullah” atas segala spirit, support, dan pengertian terhadap kakak.
12. Teman-teman Kimia 2005 atas semua kebersamaan kita dalam menimba ilmu.
13. Semua warga Kimia atas semua suka duka yang telah kita lalui bersama.
14. Teman-teman SMA Diponegoro atas kekeluargaan kita untuk selamanya dan khusus Nadia terimakasih banyak untuk segalanya.
15. Mas Najmus, mas Hadhi dan mas Sidiq teman-teman tim elektroplating.
16. Semua pihak-pihak yang secara langsung maupun tidak langsung membantu hingga terselesaikanya Skripsi ini.

Akhir kata, penulis hanya dapat berdo'a semoga skripsi yang dengan tulus dan ikhlas penulis susun serta jauh dari kesempurnaan ini dapat bermanfaat dan menambah wawasan keimuwan. Kritik dan saran yang sifatnya membangun terhadap tugas akhir ini sangat penulis harapkan sehingga akan muncul yang lebih sempurna

Surakarta, Mei 2011

AMINAH

commit to user

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
HALAMAN ABSTRAK.....	iv
HALAMAN ABSTRACT.....	v
HALAMAN MOTTO.....	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
DAFTAR TABEL LAMPIRAN.....	xviii
DAFTAR GAMBAR LAMPIRAN.....	xx
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Perumusan Masalah.....	2
1. Identifikasi Masalah.....	2
2. Batasan Masalah.....	6
3. Rumusan Masalah.....	8
C. Tujuan Penelitian.....	8
D. Manfaat Penelitian.....	8
BAB II. LANDASAN TEORI.....	9
A. Tinjauan Pustaka.....	9
1. Elektroplating.....	9
2. EDTA.....	21
3. Kekerasan <i>Micro Hardness Vickers</i>	23
B. Kerangka Pemikiran.....	25
C. Hipotesa.....	30

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN.....	31
A. Metode Penelitian.....	31
B. Tempat dan Waktu Penelitian.....	31
C. Alat dan Bahan yang digunakan.....	31
1. Alat.....	31
2. Bahan.....	32
D. Prosedur Penelitian.....	33
1. Pemotongan Plat Tembaga.....	33
2. Penghalusan Permukaan Plat Tembaga.....	33
3. Pemolesan Plat Tembaga Secara Mekanik.....	34
4. Persiapan Plat Tembaga Sebelum Elektroplating Zn-Ni-Fe.....	35
5. Pembuatan Larutan Elektrolit & Proses Elektroplating Zn-Ni-Fe.....	35
6. Tahap Karakterisasi.....	37
E. Teknik Pengumpulan dan Analisa Data.....	41
1. Tehnik Pengumpulan Data.....	41
2. Tehnik Analisa Data.....	42
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	44
A. Hasil Penelitian.....	44
B. Pembahasan.....	48
1. Hubungan Potensial Kerja terhadap Arus Listrik dalam Proses Elektroplating.....	48
2. Pengaruh Variasi Potensial Kerja dan Konsentrasi <i>Ethylenediamine Tetra Acetic Acid</i> terhadap Berat Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe.....	50
3. Pengaruh Variasi Potensial Kerja dan Konsentrasi <i>Ethylenediamine Tetra Acetic Acid</i> terhadap Ukuran Butiran Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe.....	55
4. Pengaruh Variasi Potensial Kerja dan Konsentrasi <i>Ethylenediamine Tetra Acetic Acid</i> terhadap Nilai Kekerasan Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe.....	60

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	65
A. Kesimpulan.....	65
B. Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....	66
LAMPIRAN.....	69

perpustakaan.uns.ac.id

digilib.uns.ac.id

*commit to user**commit to user*

DAFTAR TABEL

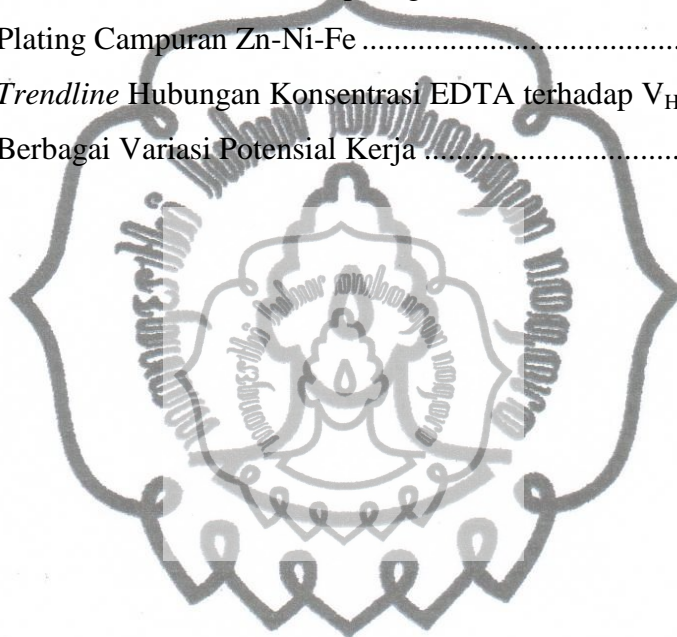
	Halaman
Tabel 1. Harga Konstanta Kestabilan Kompleks Logam dengan EDTA (K_f).....	23
Tabel 2. Nilai Kekerasan <i>Vickers</i> Beberapa Logam.....	25
Tabel 3. Formulasi Larutan Elektroplating Zn-Ni-Fe.....	35
Tabel 4. Perbandingan Ukuran Suatu Standar Secara <i>Real</i> dan Mikroskop	38
Tabel 5. Teknik Pengumpulan Data.....	42
Tabel 6. Bentuk Tabulasi Analisa Data Pengaruh Potensial Kerja terhadap Karakter Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe.....	42
Tabel 7. Bentuk Tabulasi Analisa Data Pengaruh Penambahan Konsentrasi EDTA terhadap Karakter Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe	43
Tabel 8. Penampakan Fisik Permukaan Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe...	45
Tabel 9. Hasil Karakterisasi Pelapisan Campuran Zn-Ni-Fe pada Substrat Cu ..	47
Tabel 10. Konstanta a , b , c , r^2 dan r dari <i>Trendline</i> Hubungan Antara Variasi Potensial Kerja dengan Arus Listrik	50
Tabel 11. Konstanta a , b , c , r^2 dan r dari <i>Trendline</i> Hubungan Antara Potensial Kerja pada Berbagai Variasi Konsentrasi EDTA dengan Berat Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe.....	52
Tabel 12. Konstanta a , b , c , r^2 dan r dari <i>Trendline</i> Hubungan Antara Potensial Kerja pada Berbagai Variasi Konsentrasi EDTA dengan Ukuran Butiran Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe	57
Tabel 13. Konstanta a , b , c , r^2 dan r dari <i>Trendline</i> Hubungan Antara Potensial Listrik pada Berbagai Variasi Konsentrasi EDTA dengan Kekerasan Lapisan Campuran Zn-Ni-Fe	61

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Kurva Arus-Tegangan	13
Gambar 2. Kurva Arus-Tegangan untuk Sel yang Memperlihatkan Sifat Nonpolarisasi diantara A dan B dan Sifat Polarisasi	14
Gambar 3. Langkah-Langkah Reaksi $Ox + e^-$ Red pada Suatu Elektroda.....	14
Gambar 4. Struktur Molekul Na_2EDTA	21
Gambar 5. Media Pengujian <i>Vickers</i>	24
Gambar 6. Mesin untuk Memotong dan Meratakan Permukaan Plat Tembaga....	33
Gambar 7. <i>Drilling & Milling Machine</i>	34
Gambar 8. Mesin Poles Mekanik	34
Gambar 9. Alat Elektrolisis <i>Analytic Analyser</i>	36
Gambar 10. Alat Mikroskop Optik XSP-12 dan Sumber Cahaya.....	38
Gambar 11. Kurva Standarisasi Mikroskop Optik XSP-12.....	39
Gambar 12. Alat uji kekerasan <i>Mickrohardness Tester</i> HWMMT X 7 merk Underwood dengan TV Display merk Matsuzawa.....	39
Gambar 13. Grafik Hubungan antara Potensial Kerja terhadap Arus Listrik.....	49
Gambar 14. Grafik Hubungan Potensial Kerja pada berbagai Variasi Konsentrasi EDTA terhadap Berat Lapisan Plating Campuran Zn- Ni-Fe	50
Gambar 15. <i>Trendline</i> Hubungan Potensial Kerja pada berbagai Variasi Konsentrasi EDTA terhadap Berat Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe	51
Gambar 16. <i>Trendline</i> Hubungan Konsentrasi EDTA terhadap V_w pada Berbagai Variasi Potensial Kerja.....	54
Gambar 17. Grafik Hubungan Potensial Kerja pada berbagai Variasi Konsentrasi EDTA terhadap Ukuran Butiran dari Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe	55
Gambar 18. <i>Trendline</i> Hubungan Potensial Kerja pada berbagai Variasi Konsentrasi EDTA terhadap Ukuran Butiran dari Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe	56

commit to user

Gambar 19. <i>Trendline</i> Hubungan Konsentrasi EDTA terhadap V_{μ} pada Berbagai Variasi Potensial Kerja	58
Gambar 20. Grafik Hubungan Potensial Kerja pada berbagai Variasi Konsentrasi EDTA terhadap Angka Kekerasan dari Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe	60
Gambar 21. <i>Trendline</i> Hubungan Potensial Kerja pada berbagai Variasi Konsentrasi EDTA terhadap Angka Kekerasan dari Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe	61
Gambar 22. <i>Trendline</i> Hubungan Konsentrasi EDTA terhadap V_{HV} pada Berbagai Variasi Potensial Kerja	63



commit to user

commit to user

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Desain Penelitian	69
Lampiran 2. Perhitungan Kekuatan Ion Larutan (μ); Koefisien aktifitas ion Zn^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{2+} ; dan E_{sel}	70
Lampiran 3. Hasil Pengamatan Proses Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe.....	80
Lampiran 4. Data Berat Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe	81
Lampiran 5. Data Pengukuran Butiran Deposit Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe.....	82
Lampiran 6. Data Kekerasan Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe.....	97
Lampiran 7. Analisa Pengaruh Penambahan Konsentrasi EDTA terhadap Karakteristik Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe.....	98
Lampiran 8. <i>Trend</i> Pengaruh Potensial Kerja dan <i>Overpotential</i> dengan Memanipulasi Potensial Sel.....	99
Lampiran 9. <i>Fitting</i> Data dari Grafik Hubungan antara Potensial Kerja terhadap Arus Listrik.....	100
Lampiran 10. <i>Fitting</i> Data dari Grafik Hubungan antara Potensial Kerja pada Berbagai Variasi Konsentrasi EDTA terhadap Berat Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe.....	101
Lampiran 11. <i>Fitting</i> Data dari Grafik Hubungan antara Konsentrasi EDTA terhadap V_w pada berbagai Variasi Potensial Kerja.....	102
Lampiran 12. <i>Fitting</i> Data dari Grafik Hubungan antara Potensial Kerja pada Berbagai Variasi Konsentrasi EDTA terhadap Ukuran Butiran Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe.....	103
Lampiran 13. <i>Fitting</i> Data dari Grafik Hubungan antara Konsentrasi EDTA terhadap V_μ pada berbagai Variasi Potensial Kerja.....	104
Lampiran 14. <i>Fitting</i> Data dari Grafik Hubungan antara Potensial Kerja pada Berbagai Variasi Konsentrasi EDTA terhadap Nilai Kekerasan Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe.....	105

Lampiran 15. *Fitting* Data dari Grafik Hubungan antara Konsentrasi EDTA
terhadap V_{HV} pada berbagai Variasi Potensial Kerja..... 106



commit to user

commit to user

DAFTAR TABEL LAMPIRAN

	Halaman
Tabel Lampiran 1. Molaritas Bahan-Bahan dalam Larutan Elektrolit tanpa Penambahan EDTA (0,000 M).....	70
Tabel Lampiran 2. Molaritas Bahan-Bahan dalam Larutan Elektrolit dengan Penambahan EDTA 0,025 M.....	72
Tabel Lampiran 3. Molaritas Bahan-Bahan dalam Larutan Elektrolit dengan Penambahan EDTA 0,050 M.....	74
Tabel Lampiran 4. Molaritas Bahan-Bahan dalam Larutan Elektrolit dengan Penambahan EDTA 0,100 M.....	76
Tabel Lampiran 5. Molaritas Bahan-Bahan dalam Larutan Elektrolit dengan Penambahan EDTA 0,200 M.....	78
Tabel Lampiran 6. Hasil Pengamatan Proses Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe.....	80
Tabel Lampiran 7. Data Berat Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe....	81
Tabel Lampiran 8. Ukuran Butiran Deposit Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe tanpa Penambahan EDTA (0,000 M).	82
Tabel Lampiran 9. Ukuran Butiran Deposit Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe dengan Penambahan EDTA 0,025 M.	85
Tabel Lampiran 10. Ukuran Butiran Deposit Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe dengan Penambahan EDTA 0,050 M.....	88
Tabel Lampiran 11. Ukuran Butiran Deposit Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe dengan Penambahan EDTA 0,100 M.....	91
Tabel Lampiran 12. Ukuran Butiran Deposit Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe dengan Penambahan EDTA 0,200 M.....	94
Tabel Lampiran 13. Data Nilai Kekerasan Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe.....	97

commit to user

Tabel Lampiran 14. Data Nilai Pergeseran Titik-Titik Potensial Kerja Optimum untuk Berat Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe	98
Tabel Lampiran 15. Data Nilai Pergeseran Titik-Titik Potensial Kerja Optimum untuk Ukuran Butiran Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe	98
Tabel Lampiran 16. Data Nilai Pergeseran Titik-Titik Potensial Kerja Optimum untuk Kekerasan Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe	98



commit to user

commit to user

DAFTAR GAMBAR LAMPIRAN

	Halaman
Gambar Lampiran 1. Grafik Hubungan antara Potensial Kerja terhadap Arus Listrik untuk Menentukan <i>Trend</i> Pengaruh Potensial Kerja dan <i>Overpotential</i> dengan Memanipulasi Potensial Standar Elektroda Logam Zn, Ni dan Fe.....	99
Gambar Lampiran 2. <i>Fitting</i> Data dari Grafik Hubungan antara Potensial Kerja terhadap Arus Listrik.....	100
Gambar Lampiran 3. <i>Fitting</i> Data dari Grafik Hubungan antara Potensial Kerja pada berbagai Variasi Konsentrasi EDTA terhadap Berat Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe.....	101
Gambar Lampiran 4. <i>Fitting</i> Data dari Grafik Hubungan antara Konsentrasi EDTA terhadap V_w pada berbagai Variasi Potensial Kerja.....	102
Gambar Lampiran 5. <i>Fitting</i> Data dari Grafik Hubungan antara Potensial Kerja pada berbagai Variasi Konsentrasi EDTA terhadap Ukuran Butiran Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe.....	103
Gambar Lampiran 6. <i>Fitting</i> Data dari Grafik Hubungan antara Konsentrasi EDTA terhadap V_μ pada berbagai Variasi Potensial Kerja.....	104
Gambar Lampiran 7. <i>Fitting</i> Data dari Grafik Hubungan antara Potensial Kerja pada berbagai Variasi Konsentrasi EDTA terhadap Nilai Kekerasan Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe.....	105
Gambar Lampiran 8. <i>Fitting</i> Data dari Grafik Hubungan antara Konsentrasi EDTA terhadap V_{VH} pada berbagai Variasi Potensial Kerja.....	106

commit to user

Gambar Lampiran 9. Foto Mikroskop Benda Standar untuk Standarisasi Mikroskop.....	107
Gambar Lampiran 10. Penampakan Fisik Permukaan Lapisan Plating Pada Potensial Listrik 2,50 Volt tanpa Penambahan EDTA (0,000 M).....	108
Gambar Lampiran 11. Penampakan Fisik Permukaan Lapisan Plating Pada Potensial Listrik 2,50 Volt dengan Penambahan EDTA 0,025 M.....	109
Gambar Lampiran 12. Penampakan Fisik Permukaan Lapisan Plating Pada Potensial Listrik 2,50 Volt dengan Penambahan EDTA 0,050 M.....	110
Gambar Lampiran 13. Penampakan Fisik Permukaan Lapisan Plating Pada Potensial Listrik 2,50 Volt dengan Penambahan EDTA 0,100 M.....	111
Gambar Lampiran 14. Penampakan Fisik Permukaan Lapisan Plating Pada Potensial Listrik 2,50 Volt dengan Penambahan EDTA 0,200 M.....	112
Gambar Lampiran 15. Penampakan Fisik Permukaan Lapisan Plating Pada Potensial Listrik 3,00 Volt tanpa Penambahan EDTA (0,000 M).....	113
Gambar Lampiran 16. Penampakan Fisik Permukaan Lapisan Plating Pada Potensial Listrik 3,00 Volt dengan Penambahan EDTA 0,025 M.....	114
Gambar Lampiran 17. Penampakan Fisik Permukaan Lapisan Plating Pada Potensial Listrik 3,00 Volt dengan Penambahan EDTA 0,050 M.....	115
Gambar Lampiran 18. Penampakan Fisik Permukaan Lapisan Plating Pada Potensial Listrik 3,00 Volt dengan Penambahan EDTA 0,100 M.....	116

Gambar Lampiran 19. Penampakan Fisik Permukaan Lapisan Plating Pada Potensial Listrik 3,00 Volt dengan Penambahan EDTA 0,200 M.....	117
Gambar Lampiran 20. Penampakan Fisik Permukaan Lapisan Plating Pada Potensial Listrik 4,00 Volt tanpa Penambahan EDTA (0,000 M).....	118
Gambar Lampiran 21. Penampakan Fisik Permukaan Lapisan Plating Pada Potensial Listrik 4,00 Volt dengan Penambahan EDTA 0,025 M.....	119
Gambar Lampiran 22. Penampakan Fisik Permukaan Lapisan Plating Pada Potensial Listrik 4,00 Volt dengan Penambahan EDTA 0,050 M.....	120
Gambar Lampiran 23. Penampakan Fisik Permukaan Lapisan Plating Pada Potensial Listrik 4,00 Volt dengan Penambahan EDTA 0,100 M.....	121
Gambar Lampiran 24. Penampakan Fisik Permukaan Lapisan Plating Pada Potensial Listrik 4,00 Volt dengan Penambahan EDTA 0,200 M.....	122
Gambar Lampiran 25. Penampakan Fisik Permukaan Lapisan Plating Pada Potensial Listrik 5,00 Volt tanpa Penambahan EDTA (0,000 M).....	123
Gambar Lampiran 26. Penampakan Fisik Permukaan Lapisan Plating Pada Potensial Listrik 5,00 Volt dengan Penambahan EDTA 0,025 M.....	124
Gambar Lampiran 27. Penampakan Fisik Permukaan Lapisan Plating Pada Potensial Listrik 5,00 Volt dengan Penambahan EDTA 0,050 M.....	125
Gambar Lampiran 28. Penampakan Fisik Permukaan Lapisan Plating Pada Potensial Listrik 5,00 Volt dengan Penambahan EDTA 0,100 M.....	126

commit to user

Gambar Lampiran 29. Penampakan Fisik Permukaan Lapisan
Plating Pada Potensial Listrik 5,00 Volt dengan
Penambahan EDTA 0,200 M..... 127



commit to user

commit to user

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Lapisan plating merupakan suatu lapisan yang dideposisikan pada substrat tertentu. Penumbuhannya dapat dilakukan dengan berbagai metode antara lain *Electrodeposition*, *Evaporaton*, *Sputtering*, *plating*, *ion plating*, *Physical vapour deposition* (PVD) dan *Chemical vapor depostion* (CVD). Teknik penumbuhan lapisan plating dengan menggunakan metode elektrodposisi/elektroplating memiliki beberapa keunggulan antara lain: lapisannya lebih merata, daya rekatnya lebih baik, proses pelapisan listriknya tidak membutuhkan tegangan terlalu tinggi (Taufik, 2009), dapat meningkatkan ketahanan korosi dan membuat tampilan strukturnya cerah/mengkilap sehingga menarik serta kualitasnya meningkat (Suarsana, 2008).

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengembangkan tampilan struktur yang cerah dan memiliki ketahanan korosi pada lempengan baja terutama untuk panel otomotif. Salah satu aplikasi yang hingga saat ini masih di kembangkan adalah campuran Zn-Fe dan Zn-Ni yang digunakan pada lapisan plating lempengan baja (Kim dan Pohang-si, 2004). Pelapisan campuran Zn-Ni banyak dipertimbangkan karena hambatan korosinya yang lebih tinggi dan karakteristik mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan Zn dan pelapis campuran Zn lainnya. Walaupun literatur yang membicarakan campuran terner lebih terbatas dibandingkan dengan campuran biner, telah ditemukan bahwa campuran Zn-Ni-Fe lebih bernilai untuk tingkatan aktivitasnya (Karahana, 2007). Lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe dengan sensitivitas yang lebih baik sangat dipengaruhi oleh potensial, substrat, dan juga dipengaruhi oleh beberapa variabel lain diantaranya rapat arus, suhu, waktu deposisi, pengadukan, keasaman larutan (pH), kosentrasi larutan, penambahan agen pengompleks.

Adanya penambahan EDTA (*Ethylenediamine tetra acetic acid*) sebagai pengompleks akan mempengaruhi laju plating karena ligan (pengompleks) dapat menghambat proses oksidasi dengan menghilangkan ion-ion logam yang

mengkatalisis proses oksidasi (Hendrayana, 2009). Senyawa EDTA yang berfungsi sebagai pengompleks logam biasanya berupa garam Na_2EDTA ($\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}$) (Winarno, 1982). Ligan EDTA mempunyai stabilitas tinggi karena daya kemampuannya untuk mengompleks sangat kuat. Penambahan EDTA akan menyebabkan sekuestrasi, yaitu mengurangi konsentrasi ion logam bebas dimana ion logamnya dibuat kompleks serta mencegah pengendapan garam logamnya seperti hidroksi, karbonat, dan sulfit (Peters dan Linda, 1993). Adanya penambahan EDTA dalam suatu proses elektroplating sangat diperlukan untuk meningkatkan kualitas produk.

Berdasarkan hal tersebut maka penelitian ini dilakukan untuk menentukan pengaruh potensial dengan penggunaan EDTA terhadap lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe pada substrat tembaga (Cu). Substrat katoda yang dipakai adalah tembaga karena tembaga tidak mudah teroksidasi dan mempunyai potensial reduksi yang cukup tinggi yaitu 0,340 volt sehingga diperkirakan logam Cu dapat bertindak sebagai penjebak elektron. Karena potensial elektroda standarnya positif, tidak larut dalam asam klorida dan asam sulfat encer, meskipun dengan adanya oksigen bisa larut sedikit (Svehla, 1990).

B. Perumusan Masalah

1. Identifikasi Masalah

Berdasarkan alasan pemilihan judul diatas maka timbul permasalahan dalam penelitian ini. Secara umum adalah tentang bagaimana pengaruh dari penggunaan EDTA pada karakteristik hasil lapisan plating. Namun, permasalahan ini sangat luas karena banyak faktor yang harus dipertimbangkan yaitu; potensial kerja, konsentrasi EDTA, konsentrasi larutan awal dan karakter yang digunakan sebagai acuan standarnya. Hal tersebut, diuraikan sebagai berikut:

- a. Potensial kerja merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi sehingga perlu diketahui. Potensial yang diperlukan untuk proses elektroplating tergantung dari rapat arus listrik, jenis, komposisi dan kondisi elektrolit. Rapat arus dapat dinaikkan dengan menaikkan potensial listrik, akan tetapi hal ini dapat menyebabkan terjadinya polarisasi (perubahan potensial elektroda

selama elektrolisa) dan tercapainya potensial minimum (potensial teoritis sesuai persamaan Nernst) (Purwanto dan Syamsul, 2005). Hasil perhitungan sesuai persamaan Nernst rata-rata sebesar 2,30 volt. Potensial 2,30 volt merupakan potensial sel terbuka. Artinya, jika digunakan untuk elektrolisis maka potensial kerja harus di atas dari potensial itu (Skoog *et al.*, 1995) Potensial lebih yang diperlukan disebut *overpotential*. Apabila potensial yang diberikan terlalu kecil (E^0 standart) maka reaksi reduksi-oksidasi tidak akan berlangsung. Namun apabila potensial yang diberikan terlalu besar akan mempercepat transfer elektron dan pergerakan ion sehingga dapat menurunkan kualitas hasil pelapisan (Achmad, 1992). Menurut Purnawan (2003) menyatakan bahwa pengaruh potensial dan penambahan surfaktan NaLS terhadap kualitas lapisan seng hasil elektroplating pada potensial sebesar 5,00 volt lapisan yang dihasilkan hancur/kusam. Oleh karena itu dalam mempelajari pengaruh konsentrasi EDTA terhadap karakter lapisan plating perlu diketahui secara serentak pengaruh dari potensial kerja itu sendiri.

- b. Senyawa EDTA merupakan agen pengompleks yang digunakan secara luas dalam formula pembersih karena kegunaannya sebagai pemisah. Berdasarkan penelitian Haris dan Jennifer, 1999 penambahan pengompleks amina organik dalam proses elektroplating menghasilkan perubahan rasio berat lapisan Ni-Fe yang signifikan terjadi mulai pada konsentrasi 0,025 mol/L hingga 0,6 mol/L. Dan berdasarkan pada penelitian Thiagarajan *et al.*, (2009) dipilih konsentrasi pengompleks EDTA 0,1 mol/L untuk menstabilkan ukuran butiran sehingga dapat mempengaruhi sifat mekanik lapisan tipis CdS seperti tingkat kekerasan, elastisitas, adhesi dan sebagainya. Pada konsentrasi yang tinggi, pengompleks EDTA menimbulkan “efek sepi” (pengaruhnya pada dentatnya, jadi bila dentat lebih banyak atau multidentat maka lebih stabil) yang mengganggu aliran transfer elektron dan menempelnya gas pada elektroda sehingga dapat menurunkan kualitas hasil pelapisan. Penggunaan EDTA secara berlebihan membuat distribusi ion logam terhadap elektroda tidak normal. Oleh karena itu adanya penambahan EDTA dalam suatu proses elektroplating sangat

diperlukan untuk meningkatkan kualitas produk (meliputi kecerahan atau kekilapan dan kekerasan) dan kecepatan proses. Namun, konsentrasi EDTA akan mempengaruhi transfer ion-ion bahan yang digunakan sebagai pelapis sehingga perlu diperhatikan dalam penggunaannya.

- c. Konsentrasi awal dari larutan sangat mempengaruhi hasil dari potensial kerja. Apabila konsentrasi awal tidak ditetapkan maka potensial kerja juga berubah sesuai dengan komposisi dari konsentrasi larutan. Penetapan konsentrasi awal lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe mengacu dalam penelitian yang dilakukan oleh Karahan (2007). Menurut Karahan (2007), lapisan pelindung Zn-Ni-Fe dengan perbedaan orientasi kristalografi yang merupakan konsekuensi dari jumlah kecil besi dan nikel akan berpengaruh pada ketahanan terhadap korosi semakin besar. Dalam jurnal ini komposisi larutan konsentrasi awal ditetapkan pada ZnCl_2 40 g/L; $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 25 g/L; H_3BO_3 16 g/L; NH_4Cl 25 g/L; Gelatine 1 g/L (diatur pada $\text{pH} = 4$ dan temperatur = 45°C) dan divariasi untuk konsentrasi $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebesar 0 dan 10 g/L serta untuk konsentrasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ sebesar 0, 5, 10, 20 dan 30 g/L. Dibandingkan dengan paduan Zn-Fe-Ni lainnya, $\text{Zn}_{88}\text{Fe}_{10}\text{Ni}_2$ adalah lapisan campuran dengan ketahanan terhadap korosi terbesar di antara yang lain dengan konsentrasi larutan sebagai berikut: ZnCl_2 40 g/L; $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 10 g/L; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 10 g/L; $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 25 g/L; H_3BO_3 16 g/L; NH_4Cl 25 g/L; Gelatine 1 g/L. Oleh karena itu, komposisi yang digunakan dalam penelitian ini seperti komposisi tersebut. Selain itu faktor waktu, suhu, posisi elektroda, substrat, pengadukan dan pH juga mempengaruhi kualitas lapisan. Hal ini menjadi masalah apabila tidak dikontrol selama percobaan.
- d. Campuran Zn-Ni-Fe mempunyai beberapa karakter yang disesuaikan dengan kebutuhan pemanfaatan campuran tersebut. Di antara pengujian karakter yang dilakukan terhadap campuran terner Zn-Ni-Fe yaitu berat dan tebal lapisan, komposisi, tekstur permukaan, uji Daya Rentang & Kekerasan, Tekstur & kekasaran permukaan, Sifat Elektrik & Magnetik, Stabilitas Termal, Koefisien Ekspansi Termal sehingga perlu ditetapkan karakterisasi yang tepat untuk pengujian.

Karakter berat yang mempengaruhi *alloy* Zn-Ni-Fe adalah berat masing-masing logam yang menempel pada substrat Cu demikian juga untuk ukuran butiran dan nilai kekerasan sehingga komposisi masing-masing logam menjadi prioritas dalam proses pelapisan. Penentuan komposisi masing-masing logam dapat dilakukan menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (AAS), difraksi sinar-X (XRD) dan voltametri. Namun pengujiannya memerlukan waktu yang cukup lama serta biayanya cukup mahal.

Karakter tekstur lapisan plating *alloy* Zn-Ni-Fe dapat dilakukan dengan mengukur ukuran butiran menggunakan mikroskop optik untuk mengetahui dan memonitor tekstur permukaan deposit dan cacat pertumbuhan kristal deposit elektroplating. Hasilnya juga cukup jelas untuk keperluan *monitoring* tekstur butiran permukaan elektroplating. Namun jika membutuhkan ketelitian yang tinggi maka menggunakan instrumen yang lebih baik seperti SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan TEM (*Transmission Electron Microscopy*) yang mampu mendeteksi hingga morfologi permukaan, akan tetapi biaya pengujiannya cukup mahal.

Karakter kekerasan dapat diuji menggunakan metode penekanan yaitu: *Rockwell*, *Brinnel* dan *Vickers*. Uji kekerasan *Vickers* banyak dilakukan penelitian karena penentuannya dapat digunakan pada bahan yang keras maupun lembek, pada benda-benda kerja tipis dan hanya menyebabkan kerusakan kecil (Encarta Microsoft, 2005). Oleh sebab itu, untuk tujuan studi awal maka dalam penelitian ini hanya menentukan berat total secara *gravimetric*, menentukan tekstur lapisan secara mikroskop optik dan menentukan nilai kekerasan menggunakan metode *Vickers*.

Analisis karakteristik berat total, tekstur dan nilai kekerasan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe pada substrat Cu dengan penggunaan EDTA dapat menggunakan analisis matematik atau secara lebih khusus analisis statistik. Tujuan dari analisis tersebut adalah untuk mengetahui kecenderungan nilai suatu variabel dari perkembangan waktu/beberapa kejadian serta hubungan /pengaruhnya terhadap kejadian lain. Hal ini, melukiskan pola hubungan

fungsionalnya antara satu variabel atau lebih (disebut variabel terikat) dengan beberapa variabel lain (yang disebut variabel bebas).

Praktisi tidak memerlukan analisis matematik yang terlalu rumit, oleh karena itu perlu dicari teknik analisis yang lebih sederhana dimana salah satu contohnya adalah dengan metode *fitting*. Ada beberapa metode *fitting* yang dapat digunakan yaitu, model *trend* linier, eksponensial, kuadratik, kubik, logaritma, logistik, dan lain sebagainya. Metode tersebut merupakan teknik penyederhanaan untuk memprediksi hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat pada proses elektroplating. Model *fitting* dikatakan benar itu dilihat dari nilai koefisien determinasinya (r^2) sama dengan atau mendekati satu.

2. Batasan Masalah

Dari adanya identifikasi masalah di atas dan beberapa alasan yang ditunjukkan, perlu adanya batasan-batasan masalah dalam penelitian ini, antara lain :

- a. Potensial yang digunakan dalam proses elektroplating adalah 2,50; 3,00; 4,00 dan 5,00 volt.
- b. Konsentrasi EDTA yang digunakan dalam proses elektroplating adalah 0,000; 0,025; 0,050; 0,100 dan 0,200 mol/L.
- c. Parameter kontrol elektroplating dibuat tetap yaitu, sebagai berikut :
 - 1) Komposisi larutan elektrolit
 - ZnCl_2 : 40 g/L
 - $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 10 g/L
 - $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: 10 g/L
 - H_3BO_3 : 16 g/L
 - NH_4Cl : 25 g/L
 - Gelatine : 1 g/L (Karahen, 2008).
 - 2) Elektroplating yang dilakukan menggunakan sistem 2 elektroda yaitu : elektroda terdiri dari katoda dan anoda. Katoda yang dipakai adalah lempeng tembaga (Cu), merupakan logam yang akan dilapisi. Ukuran dimensi lempeng tembaga p x l x t (4 cm x 2,5 cm x 0,4 cm). Lempeng

tembaga diperoleh dari LTC Glodog Jakarta Pusat sedangkan anoda yang dipakai adalah platina (Pt). Logam platina dipilih sebagai anoda karena platina bersifat inert dan memiliki *overpotential* hidrogen dan oksigen yang kecil dibandingkan anoda inert yang lain seperti Au (emas) atau C (karbon) sehingga gas hidrogen dan oksigen yang timbul akan sedikit.

- 3) Jarak anoda dan katoda ditetapkan 5 cm.

Jarak anoda dan katoda yang digunakan itu menyesuaikan dimensi dari bak plating.

- 4) Kondisi elektroplating : suhu operasi plating pada suhu kamar ± 301 K atau 28 °C, waktu elektrolisis 10 menit. Pada temperatur tinggi dapat meningkatkan konduktivitas larutan plating sehingga akan menyebabkan deposisi deposit yang tidak beraturan. Selain itu, pada temperatur tinggi memberikan deposit yang tidak mengkilat dan menyebabkan gangguan dan kerusakan.

- d. Karakterisasi deposit campuran Zn-Ni-Fe hasil elektroplating dibatasi pada :

- 1) Berat lapisan hanya ditentukan sebagai berat total campuran deposit logam Zn, Ni dan Fe yang menempel pada katoda.
- 2) Tekstur permukaan hanya ditentukan dari ukuran butiran total campuran deposit logam Zn, Ni dan Fe yang terbentuk. Uji tekstur permukaan lapisan deposit campuran Zn-Ni-Fe menggunakan alat mikroskop yang dilengkapi kamera digital.
- 3) Nilai kekerasan hanya ditentukan untuk nilai kekerasan material total deposit campuran Zn-Ni-Fe. Uji kekerasan ini dilakukan dengan alat *Microhardness Tester Vickers*.

Model *fitting* yang digunakan untuk menganalisis karakterisasi deposit campuran Zn-Ni-Fe hasil elektroplating berupa model linier, eksponensial dan kuadrat dilihat dari nilai koefisien determinasi (r^2) yang mendekati 1 (satu) yaitu sekitar $\geq 0,95$.

3. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat di tarik suatu Rumusan Masalah yang akan diungkap dalam penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana pengaruh potensial kerja terhadap karakteristik berat total, tekstur dan kekerasan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe pada substrat Cu dengan adanya EDTA?
- b. Bagaimana pengaruh konsentrasi EDTA terhadap karakteristik berat total, tekstur dan kekerasan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe pada substrat Cu?

C. Tujuan Penelitian

Dalam penelitian ini tujuan yang hendak dicapai peneliti adalah :

1. Mengetahui pengaruh potensial kerja terhadap karakteristik berat total, tekstur dan kekerasan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe pada substrat Cu dengan adanya EDTA.
2. Mengetahui pengaruh konsentrasi EDTA terhadap karakteristik berat total, tekstur dan kekerasan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe pada substrat Cu.

D. Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada kita, di antaranya adalah :

1. Manfaat teoritis
 - a. Menambah dan memberikan informasi tentang pengaruh potensial kerja terhadap karakteristik berat total, tekstur dan kekerasan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe pada substrat Cu dengan adanya EDTA.
 - b. Menambah dan memberikan informasi tentang pengaruh konsentrasi EDTA terhadap karakteristik berat total, tekstur dan kekerasan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe pada substrat Cu.
2. Manfaat praktis
 - a. Diharapkan dapat digunakan sebagai alternatif dalam pelapisan logam untuk perlindungan terhadap korosi pada lempengan tembaga.
 - b. Diharapkan dapat digunakan sebagai *multitrack data recorder*.

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

1. Elektroplating

Elektroplating adalah proses pelapisan yang biasa dilakukan pada permukaan logam berdasarkan pergerakan arus listrik. Elektroplating logam juga merupakan penempelan spesies kimia pada substrat atau logam lain secara elektrolisis. Pada sistem ini listrik digunakan untuk berlangsungnya suatu reaksi kimia serta sumber tegangan eksternal sehingga anoda bermuatan positif apabila dihubungkan dengan katoda maka ion-ion bermuatan negatif akan mengalir ke anoda untuk dioksidasi. Potensial *Electromotive force* (Emf)/gaya gerak listrik (GGL) yang diperlukan untuk berlangsungnya proses ini akan sedikit lebih tinggi daripada potensial Emf yang dihasilkan oleh reaksi kimia. Potensial Emf tersebut didapat dari luar atau potensial eksternal (Dogra, 1990).

Proses elektroplating memiliki basis konsep, mengalirnya arus searah melalui suatu larutan berkaitan dengan gerak partikel bermuatan (ion). Ujung-ujung keluar masuknya arus dari/ke larutan disebut elektroda. Pada anoda terjadi oksidasi dan pada katoda berlangsung reduksi. Ion yang bergerak (migrasi) ke anoda disebut anion sedangkan yang menuju katoda dinamai kation serta larutannya disebut elektrolit. Arus langsung melalui anoda (kutub positif) yang terdiri dari logam yang diendapkan serta elektroplating pada permukaan yang akan dilapisi dihubungkan sebagai katoda (kutub negatif) dalam larutan elektrolit sehingga pelarutan logam dari anoda dan diendapkan di katoda pada kondisi ideal Berat logam yang larut di anoda sebanding dengan yang diendapkan di katoda serta semua yang terkandung di dalam larutan konstan (Mc Graw-Hill, 1971).

Larutan adalah campuran homogen dari molekul-molekul atom atau ion dari dua zat atau lebih. Larutan elektrolit adalah larutan yang mengandung ion-ion sehingga bersifat menghantarkan arus listrik.

Larutan elektrolit akan mengalami elektrolisis bila dihubungkan dengan sumber arus searah. Terjadinya proses elektrolisis tersebut mengakibatkan

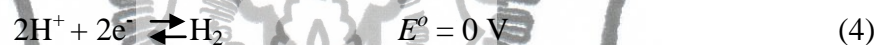
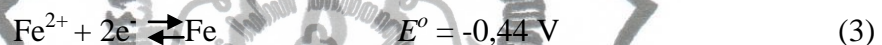
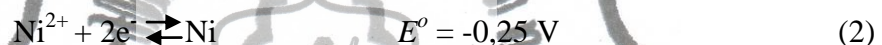
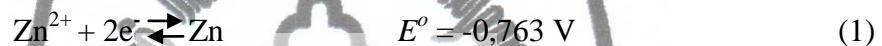
terurainya ion-ion dalam larutan, sehingga ion-ion positif akan bergerak menuju kutub negatif dan ion-ion negatif bergerak menuju kutub positif.

Larutan elektrolit biasanya mengandung logam pelapis. Konsentrasi larutan elektrolit sangat mempengaruhi proses elektroplating, sehingga perbandingan bahan kimia dengan zat pelarut pada penumbuhan lapisan tipis harus sangat diperhitungkan.

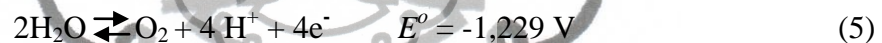
Pada proses elektroplating reaksi yang terjadi pada larutan merupakan persamaan setengah reaksi reduksi oksidasi.

Reaksi- reaksi yang terjadi pada elektroda

a. Reaksi di katoda



b. Reaksi di Anoda



Agar dapat terjadi pengendapan Zn, Ni dan Fe pada substrat, maka potensial standart dari sistem yang akan dilakukan adalah:

$$E_{\text{sel}}^{\circ} = E^{\circ}_{\text{reduksi}} - E^{\circ}_{\text{oksidasi}}$$

$$E_{\text{sel}}^{\circ} \text{ Zn} = -0,763 - 1,229 \text{ Volt} = -1,992 \text{ Volt}$$

$$E_{\text{sel}}^{\circ} \text{ Ni} = -0,250 - 1,229 \text{ Volt} = -1,479 \text{ Volt}$$

$$E_{\text{sel}}^{\circ} \text{ Fe} = -0,440 - 1,229 \text{ Volt} = -1,669 \text{ Volt}$$

Tanda minus disini tidak mempengaruhi besaran yang ada, tanda minus hanya menandakan suatu elektroda lebih bersifat reduktif atau oksidatif terhadap elektroda yang lain, potensial tersebut merupakan potensial standart minimum yang harus diberikan untuk terjadinya reaksi redoks (Achmad, 1992). Reaksi redoks ini tidak spontan pada potensial dari luar.

Pengendapan atau deposisi logam pada elektroda terjadi pada harga potensial yang besarnya sesuai dengan potensial deposisi logam tersebut. Potensial yang dipakai disesuaikan dengan sistem agar proses elektroplating berlangsung cepat dan menghasilkan deposit yang mempunyai kemurnian tinggi.

Jumlah materi yang terdepositasi dan jumlah listrik yang terlibat dalam proses tersebut ditentukan secara elektrogravimetri dan koulometri. Pada analisis elektroda yang inert dan jumlah zat yang terdepositasi dihitung dari berat depositnya (Rivai, 1995).

Menurut Butler-Volmer, Bila tidak ada potensial luar (eksternal) yang diberikan, maka dalam sistem larutan elektrolit akan mencapai kesetimbangan jika laju reaksi anodik sama dengan reaksi katodik atau:

$$i_o = i_{(\text{anodik})} = i_{(\text{katodik})} \dots\dots\dots(6)$$

dimana i_o adalah rapat arus pertukaran. Sesuai potensial *reversible* (atau potensial setengah-sel), yang menggambarkan bagaimana laju reaksi larutan logam di antarmuka tergantung pada perbedaan antara potensial sebenarnya (E) dan potensial elektroda termodinamika atau potensial keseimbangan, untuk itu perlu menggunakan salah satu persamaan yang mendasar dalam kinetika elektroda yaitu persamaan Butler-Volmer.

$$i(E) = i_o \left[e^{\left(\alpha \frac{nF}{RT} (E - E_{\text{Nernst}}) \right)} - e^{\left(-(1-\alpha) \frac{nF}{RT} (E - E_{\text{Nernst}}) \right)} \right] \dots\dots\dots(7)$$

Dalam persamaan Butler-Volmer di atas, menunjukkan bahwa eksponensial pertama bertindak sebagai reaksi anodik dan pada eksponensial kedua bertindak sebagai reaksi katodik. Sedangkan α dan $1-\alpha$ merupakan koefisien transfer energi masing-masing reaksi pada arah anodik dan katodik, lalu istilah untuk η disebut sebagai *overpotential* yang mengukur seberapa jauh potensial elektroda bergeser dari potensial kesetimbangan. Tergantung pada arah mana pergeseran tersebut, hal itu bisa menjadi *overpotential* anodik maupun katodik, misalnya:

$$\eta_a = E - E_{\text{Nernst}} \dots\dots\dots(8)$$

$$\eta_c = E_{\text{Nernst}} - E \dots\dots\dots(9)$$

(Ramachandran dan James, 2001).

Pada *overpotential* rendah ($\eta \ll \frac{RT}{F}$), rapat arus i dengan η dalam persamaan 7 mengikuti hubungan linier, sehingga:

$$i = i_o \frac{F\eta}{RT} \dots\dots\dots(10)$$

Pada *overpotential* lebih tinggi ($|\eta| \gg \frac{RT}{F}$), persamaan 7 dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$i_a = i_o \left[e^{\left(\alpha \frac{nF}{RT} (E - E_{\text{Nernst}}) \right)} \right] \quad \eta \gg \frac{RT}{F} \dots\dots\dots (11a)$$

$$i_c = i_o \left[e^{\left(-(1-\alpha) \frac{nF}{RT} (E - E_{\text{Nernst}}) \right)} \right] \quad \eta \ll -\frac{RT}{F} \dots\dots\dots (11b)$$

Persamaan 11a dan 11b masing-masing tergantung pada *overpotential* anodik atau katodik. Bila persamaan 11 digabungkan dalam bentuk logaritma, maka akan membentuk persamaan sederhana yang sering disebut dengan persamaan Tafel, dengan memperkenalkan konstanta a dan b, sehingga diperoleh:

$$\eta = a + b \log i_o \dots\dots\dots (12)$$

Perhitungan *overpotential* dari persamaan Tafel sampai $\eta \Rightarrow 0$ (yaitu untuk E_{Nernst}), akan menghasilkan rapat arus pertukaran i_o (Fillman, 2005).

Overpotential disebabkan oleh sifat dan struktur permukaan elektroda, sifat ion-ion, komposisi dan kemurnian elektrolit, temperatur dan rapat arus. Keseimbangan dalam sistem elektrokimia bersifat dinamis, ada ion logam tereduksi, ada pula atom logam terionisasi. Agar terjadi reaksi kimia yang efektif harus ada sumber arus luar (Widiono, 2009).

Bila arus listrik dialirkan kepada suatu sel elektrokimia maka potensial yang terukur biasanya menyimpang dari harga perhitungan. Penyimpangan ini dapat disebabkan oleh pengaruh tahanan dan pengaruh polarisasi. Umumnya pengaruh ini menurunkan potensial suatu sel galvanik atau menambah potensial yang diperlukan untuk menghasilkan arus di dalam sel elektrolisis.

Untuk menghasilkan suatu arus baik pada sel galvanik maupun sel elektrolisis, dibutuhkan suatu “gaya dorong” (*driving force*) untuk mengatasi hambatan (resistansi) ion-ion ketika melaju menuju anoda dan katoda. Gaya ini mematuhi hukum ohm, sering juga disebut dengan istilah “*ohmic potential*” atau “IR drop”, sehingga potensial sel teoritis selalu dikurangi IR. Jadi,

$$E_{\text{sel}} = E_{\text{katoda}} - E_{\text{anoda}} - IR \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan :

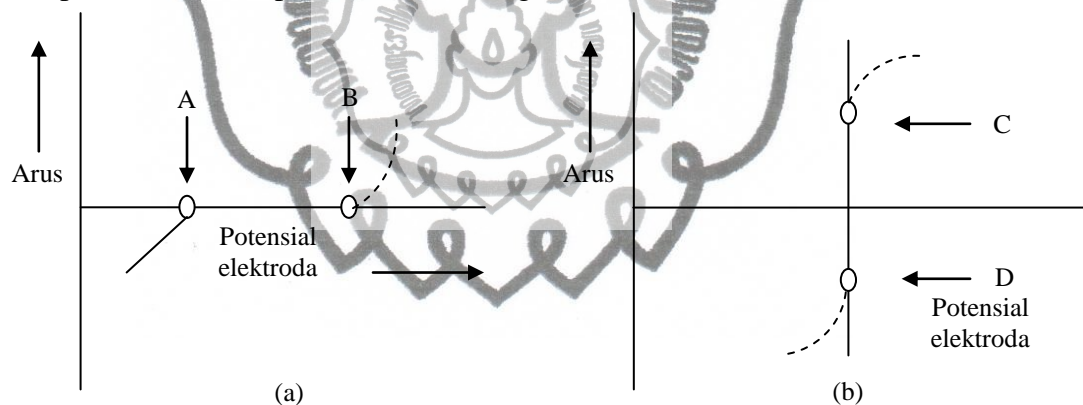
I = kuat arus yang melewati sistem larutan (A)

R = hambatan (resistansi) larutan (Ω)

Berdasarkan hukum ohm pada Persamaan (13) di atas, seharusnya kurva hubungan arus dan voltase (potensial) berupa suatu garis lurus (linier). Namun dalam prakteknya (percobaan *electroanalytical*) terdapat penyimpangan (bukan berupa garis linier). Hal ini dapat disebabkan karena katoda atau anoda (salah satu maupun keduanya) mengalami polarisasi (Skoog *et al.*, 1995).

Potensial yang hanya sedikit berubah jika arus melewatinya, digolongkan sebagai tak terpolarisasikan. Elektroda dengan potensial yang sangat tergantung pada arus, adalah terpolarisasikan. Dari persamaan yang dilinearkan, jelas bahwa patokan untuk polarisabilitas rendah, adalah rapat arus pertukaran yang tinggi (Atkins, 1999).

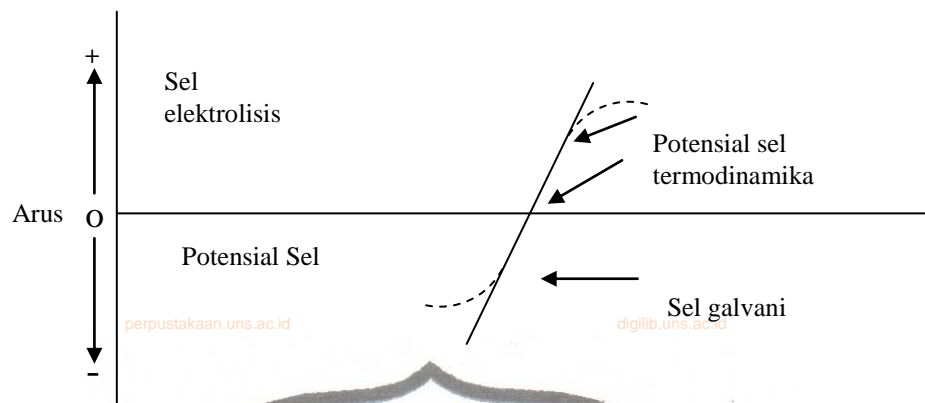
Elektroda terpolarisasi ideal adalah elektroda yang memperlihatkan arus konstan dan tak bergantung pada potensial hingga rentang tertentu. Gambar 1 memperlihatkan sifat polarisasi ideal (bagian A dan B).



Gambar 1. Kurva Arus-Tegangan (a) Polarisasi Ideal, (b) Nonpolarisasi. Garis Terputus-Putus Memperlihatkan Penyimpangan dari Sifat Ideal.

Gambar 1 memperlihatkan hubungan arus-tegangan untuk elektroda terpolarisasi ideal (bagian A) dan terpolarisasi tidak ideal (bagian B), ini banyak terjadi secara eksperimental. Sedangkan untuk elektroda tak terpolarisasi (bagian C dan D) disini potensial konstan dan tak tergantung pada arus sehingga jarang terjadi.

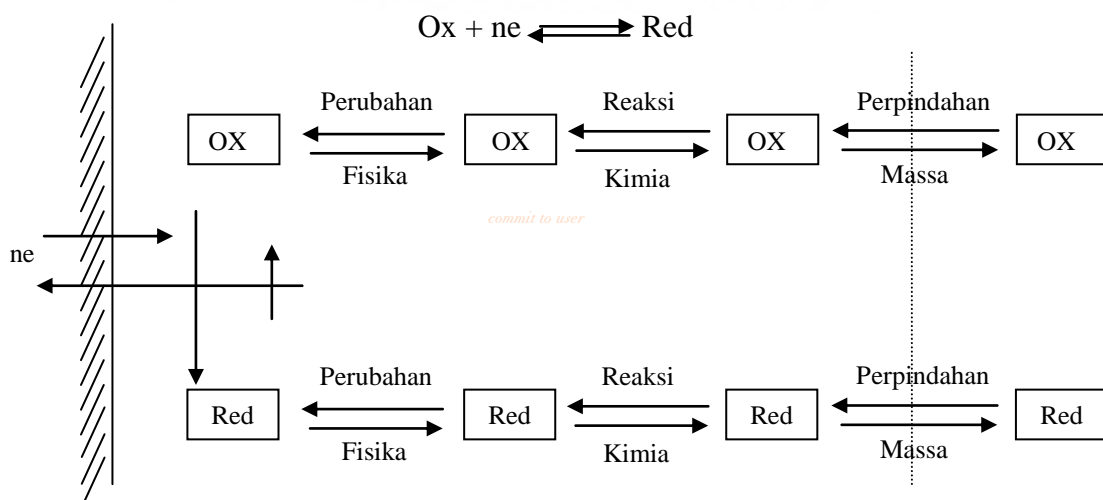
Gambar 2 menunjukkan kurva arus-tegangan untuk sel dengan elektroda yang memperlihatkan sifat tak-terpolarisasi diantara titik A dan B karena sel mempunyai tahanan dalam, maka kurva arus-tegangan mempunyai kemiringan R (persamaan 13).



Gambar 2. Kurva Arus-Tegangan untuk Sel yang Memperlihatkan Sifat Nonpolarisasi diantara A dan B dan Sifat Polarisasi (Garis Putus-Putus)

Di luar titik A dan B terjadi polarisasi yang merupakan penyimpangan dari garis lurus. Setengah bagian atas kurva memberikan hubungan arus-tegangan bila sel yang bekerja sebagai sel elektrolisis; setengah bagian bawah memperlihatkan sifat sel galvani. Bila polarisasi berasal dari sel elektrolisis, potensial yang lebih tinggi diperlukan untuk mendapatkan arus.

Sumber Polarisasi ditunjukkan pada Gambar 3, dimana menggambarkan tiga daerah untuk setengah sel yang mengalami polarisasi. Tiga daerah ini terdiri dari elektroda, lapisan larutan yang berdekatan sekali dengan elektroda dan badan larutan yang jauh dari elektroda. Untuk setengah sel ini, keseluruhan reaksi adalah



Gambar 3. Langkah-Langkah Reaksi $\text{Ox} + ne \rightleftharpoons \text{Red}$ pada Suatu Elektroda

Setiap langkah dari beberapa langkah antara yang diperlihatkan dalam Gambar dapat membatasi kecepatan reaksi yang terjadi dan besarnya arus. Salah satu dari langkah-langkah ini disebut perpindahan massa (*mass transfer*), yaitu perpindahan bentuk Ox (kependekan dari bentuk teroksidasi) dari badan larutan ke lapisan larutan. Bila langkah ini (atau kebalikan *mass transfer* Red ke badan larutan) membatasi kecepatan reaksi dan arus, maka dikatakan terjadi polarisasi konsentrasi.

Beberapa reaksi setengah-sel berlangsung dengan reaksi kimia antara seperti bentuk Ox' atau Red'; bentuk antara ini terlibat langsung di dalam proses serah terima elektron. Kalau kecepatan pembentukan atau penguraian bentuk-bentuk antara ini membatasi arus, maka terdapat polarisasi reaksi.

Dalam beberapa hal, kecepatan proses fisika seperti adsorbs (penyerapan), desorbsi (pelepasan) atau rekristalisasi membatasi arus. Disini terjadi polarisasi adsorbsi, desorbsi, atau rekristalisasi. Terakhir, polarisasi perpindahan-muatan (*charge tranfer polarization*) terjadi bila keterbatasan arus berasal dari kecepatan serah terima elektron yang lamban dari elektron ke bentuk teroksidasi di dalam lapisan larutan atau dari bentuk tereduksi ke elektroda.

Derajat polarisasi suatu elektroda diukur dengan kelebihan tegangan (*overvoltage* atau *overpotential*) η yang ditunjukkan pada persamaan 8. Nilai E (potensial nyata) selalu lebih kecil daripada E_{eq} (potensial *equilibrium*/kesetimbangan termodinamika), sehingga η akan selalu bertanda negatif. Dengan kata lain, *overpotential* selalu mengurangi nilai potensial termodinamika (E_{Nersnt}) suatu sel. Keberadaan *overpotential* ini menyebabkan persamaan potensial sel (13) menjadi:

$$E_{sel} = E_{katoda} - E_{anoda} + \eta_{total} - IR \quad (14)$$

di mana *overpotential* tersebut dapat disebabkan oleh polarisasi konsentrasi maupun polarisasi kinetik, sehingga Persamaan (14) dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$E_{sel} = E_{katoda} - E_{anoda} + (\eta_{cc} + \eta_{ck} + \eta_{ac} + \eta_{ak}) - IR \quad (15)$$

Keterangan:

η_{cc} (cathodic concentration)	= <i>overvoltage</i> akibat polarisasi konsentrasi pada katoda
η_{ck} (cathodic kinetic)	= <i>overvoltage</i> akibat polarisasi kinetik pada katoda
η_{ac} (anodic concentration)	= <i>overvoltage</i> akibat polarisasi konsentrasi pada anoda
η_{ak} (anodic kinetic)	= <i>overvoltage</i> akibat polarisasi kinetik pada anoda

Jika nilai E_{sel} bertanda negatif, menunjukkan bahwa reaksi berjalan non spontan (tidak serta-merta), artinya perlu pemberian energi listrik dari luar agar dapat terjadi reaksi oksidasi-reduksi. Di dalam sel elektrolisis, istilah E_{sel} pada Persamaan (15) di atas lebih tepatnya sering diganti dengan istilah E_{appl} , yaitu potensial (dari sumber luar) yang diberikan pada sebuah sel elektrolisis sehingga arus listrik dapat melewati resistansi (hambatan) sistem sel tersebut (Skoog *et al.*, 1995).

Elektroplating merupakan aplikasi dari elektrolisis terutama untuk mengendapkan logam dari ion logamnya dalam larutan. Logam yang terdeposit dapat berbentuk kristalin, halus, bersepih-sepih, berpori atau bergranular. Kualitas deposit dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain:

Rapat arus. Pada rapat arus yang kecil reduksi ion-ion logam berlangsung lambat sehingga deposit berbentuk kristalin kuarsa. Peningkatan rapat arus mendorong semakin cepatnya pembentukan inti dan deposit menjadi berbutir lebih halus. Pada rapat arus yang tinggi konsentrasi spesi elektroaktif di sekitar katoda berkurang sehingga kristal cenderung tumbuh seperti pohon.

Konsentrasi elektrolit. Elektrolit berfungsi untuk memperkecil tahanan larutan. Perubahan konsentrasi elektrolit dapat menimbulkan perubahan rapat arus yang sangat berpengaruh terhadap kualitas deposit.

Suhu. Peningkatan suhu memudahkan berlangsungnya proses difusi, meningkatkan pertumbuhan Kristal dan menurunkan potensial lebih gas H_2 . Suhu yang sangat tinggi menyebabkan deposit tidak baik (Reiger, 1995).

Waktu Pelapisan. Waktu pelapisan sangat berpengaruh kepada ketebalan lapisan yang diharapkan, semakin lama waktu pelapisan maka semakin tebal lapisan yang diperoleh walaupun suatu saat akan tercapai juga masa jenuh, yaitu dimana ketebalan tidak lagi bertambah walaupun waktu pelapisan terus diperpanjang.

Konduktivitas. Konduktivitas larutan tergantung kepada konsentrasi ion yang besar atau konsentrasi molekul (Lestari, 2010).

Substrat yang digunakan dalam elektrodposisi berpengaruh pada sifat magnetik lapisan tipis yang terbentuk (Sohoo, 1965). Substrat selain sebagai tempat menampung deposit juga berfungsi sebagai lapisan penyangga atau cetakan dimana struktur morfologi dan volume lapisan yang akan ditumbuhkan bergantung pada morfologi substratnya (Toifur dkk., 2002). Substrat yang digunakan pada penelitian ini adalah tembaga.

Tembaga merupakan logam merah muda yang lunak, dapat ditempa dan liat. Melebur pada 1038°C . Karena potensial elektroda standarnya positif, tidak larut dalam asam klorida dan asam sulfat encer, meskipun dengan adanya oksigen bisa larut sedikit. Tembaga yang terdapat di bumi ini tidak melimpah (55 ppm) namun terdistribusi secara luas sebagai logam dalam sulfida, arsenida, klorida dan karbonat (Svehla, 1990). Tembaga merupakan unsur logam yang mempunyai lambang Cu, nomor atom 29 dan mempunyai massa atom relatif 63,546. Sifat-sifat fisika yang penting berkaitan dengan pemanfaatannya dalam kehidupan sehari-hari adalah mempunyai titik didih 2548°C , densitas 8,93 gr/ml, koefisien ekspansi linier $1,65 \cdot 10^{-5} / ^{\circ}\text{C}$ pada 20°C , resistivitas listrik $1,6730 \cdot 10^{-6} \text{ ohm.cm}^{-1}$ pada 20°C . Mudah diregangkan dan bersifat non magnetik sehingga menguntungkan bila digunakan dalam alat-alat listrik dan magnet. Logam ini merupakan penghantar kalor dan listrik yang baik.

Beberapa sifat kimia yang dimiliki oleh tembaga adalah tahan korosi terhadap beberapa substan, dalam bentuk alloy dapat memperbaiki sifat fisika dan kimia logam lain, misalnya kuningan (tembaga + seng), perunggu (tembaga + timah), dan monel (tembaga + nikel + besi + mangan). Sifat kimia lainnya adalah efisien sebagai katalis untuk beberapa jenis reaksi kimia dan dapat membentuk senyawa kompleks. Dalam senyawa atau ion kompleks, tembaga umumnya dalam bentuk Cu(I) dan Cu(II) (Lee, 1991). Adanya pengotor dalam tembaga menyebabkan konduktivitas logam tersebut menurun, besarnya penurunan konduktivitas bergantung pada jenis pengotor dan kadarnya.

Keasaman (pH) lebih mempengaruhi sifat fisik deposit daripada komposisinya. Semakin asam larutan konsentrasi ion hidrogennya semakin tinggi dan hantaran arus dari anoda ke katoda semakin besar sehingga semakin banyak ion-ion pelapis yang didistribusikan ke katoda (Hartomo dan Kaneko, 1992).

Perubahan pH sebagai hasil dari pembentukan H^+ berhubungan dengan kapasitas *buffer*, agen pengompleks, dan senyawa lain yang disebut *buffers* terdapat dalam rendaman lapisan. Dalam bentuk yang sederhana *buffer* adalah substansi atau campuran. Substansi tersebut ditambahkan pada larutan, sebagai penetral asam dan basa tanpa perubahan pH larutan sebenarnya (Mallory dan Juan, 1990). Selain itu pH dalam larutan dapat menentukan disosiasi kompleks, dimana bila pH diturunkan akan mengurangi kestabilan kompleks. Semakin stabil kompleks yang terbentuk, maka pHnya semakin rendah.

Pada penelitian ini larutan yang digunakan untuk mempertahankan pH dari bak elektrolit adalah asam borat. Dimana asam borat berfungsi sebagai *buffer*. Asam borat juga bertindak sebagai katalis homogen, atau adsorpsi pada permukaan elektroda, serta memiliki peran yang signifikan dalam karakteristik morfologi dan komposisi (Sivakumara *et al.*, 2007). Selain itu, asam borat mudah didapat, murah, tidak menguap, dan kompatibel terhadap aditif lain.

Potensial listrik. Potensial rendah menyebabkan reaksi reduksi oksidasi tidak akan terjadi. Potensial yang digunakan harus lebih besar dari potensial elektroda standart. Potensial elektroda standart adalah beda potensial antara elektroda hidrogen standart dengan setengah sel yang terdapat pada elektroda yang tercelup dalam larutannya. Pada potensial standart hanya akan terbentuk gas yang menutupi elektroda. Jika potensial yang diberikan terlalu tinggi menyebabkan penempatan ion pelapis sangat cepat sehingga lapisan tidak rata dan kasar. Beda potensial mengakibatkan adanya pergerakan ion-ion dalam sistem. Pemberian beda potensial pada elektrodposisi Zn-Ni-Fe mempengaruhi komposisi lapisan tipis Zn-Ni-Fe yang terbentuk (Hartomo dan Kaneko, 1992).

Pada potensial listrik yang tinggi menyebabkan arus listrik yang mengalir juga semakin tinggi, sehingga pelapisan *alloys* Zn-Ni-Fe berlangsung sangat cepat dan membuat lapisannya lebih tebal.

Michael Faraday menemukan hubungan antara produk suatu endapan dari ion logam dengan jumlah arus untuk mengendapkannya, yang dapat diungkapkan sebagai berikut :

- Jumlah bahan yang terdekomposisi saat berlangsung elektrolisa berbanding lurus dengan kuat arus dan waktu pengaliran dalam larutan elektrolit.
- Jumlah arus yang sama akan membebaskan jumlah ekivalen yang sama dari berbagai unsur.

$$W = \frac{e \cdot i \cdot t}{F} \dots \dots \dots (16)$$

dimana: W = Berat yang diendapkan (gram)

i = Arus yang mengalir (Ampere)

t = Waktu pelapisan (Detik)

e = Berat Atom

F = Tetapan Faraday (96.500 Coulomb/mol)

Pengontrolan arus dilakukan untuk mengatur berat logam yang terdeposisi. Berdasar hukum Faraday untuk elektrolisis yaitu jumlah zat yang mengalami oksidasi atau reduksi pada tiap elektroda selama elektrolisis sebanding dengan jumlah arus yang lewat sel serta waktu yang dibutuhkan untuk electroplating (Rivai, 1995).

Pada electroplating yang dilihat jumlah logam yang terdeposisi pada katoda atau lenyap dari anoda. Reaksi terjadinya gas lain dan sebagainya dianggap terbuang serta lebih diperlukan bukan mencari berat total logam yang terdeposisi pada katoda melainkan tebal dan distribusi endapan di katoda (Hartomo dan Kaneko, 1992).

Untuk mengukur tebal logam yang terdeposisi secara teoritis dapat diketahui dari persamaan 16, dengan mengetahui Volume endapan diperoleh dengan perhitungan :

$$\text{volume (cm}^3\text{)} = \frac{\text{berat endapan (gram)}}{\text{density}}$$

$$V = \frac{w}{\rho} \dots \dots \dots (17)$$

density adalah kerapatan logam pelapis (gram/cm³),

Dengan mengukur langsung permukaan benda kerja dengan asumsi bahwa endapan adalah asam, maka ketebalan dapat ditentukan :

$$\text{Ketebalan (cm)} = \frac{\text{volume (cm}^3\text{)}}{\text{luas permukaan (cm}^2\text{)}} \\ S = \frac{V}{A} \dots\dots\dots(18)$$

Dari rumus-rumus diatas, untuk menentukan laju ketebalan lapisan (\dot{S}) Dapat dituliskan dengan rumus sebagai berikut:

$$S = \frac{I.t.B}{Z.F.A.\rho} \dots\dots\dots(19)$$

Jadi, rumus untuk laju ketebalan lapisan adalah sebagai berikut:

$$\dot{S} = \frac{I.600.B}{Z.F.A.\rho} \dots\dots\dots(20)$$

Dengan mengubah beberapa variabel seperti arus dan luas permukaan akan diperoleh ketebalan logam pelapis berbeda-beda. Ketebalan lapisan elektroplating (\dot{S}) berbanding linier dengan berat lapisan elektroplating (B) karena luas bidang pelapisan (A) sama. Sehingga semakin berat lapisan yang dihasilkan, maka semakin tebal lapisan yang terbentuk (Mutholib dkk., 2006).

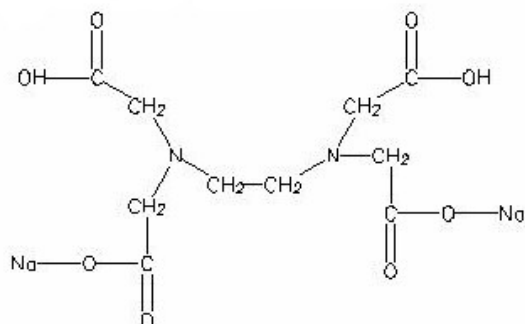
Dari pemaparan di atas diketahui bahwa yang berperan penting bukan arus total melainkan rapat arus (arus rata-rata dalam ampere tiap luas seluruh permukaan yang dilalui arus). Pada elektroplating, arus tidak terdistribusi merata ke seluruh permukaan katoda, arus cenderung mengumpul pada titik tonjolan dan pinggir (linggir) tepi runcing permukaan (Hartomo dan Kaneko, 1992).

Transfer muatan pada permukaan elektroda berhubungan dengan transpor ion-ion dalam elektrolit. Pada spesies bermuatan, medan listrik turut mempengaruhi proses perpindahan spesies. Proses elektrokimia sering dipengaruhi oleh kecepatan perpindahan reaktan ke permukaan elektroda. Kecepatan perpindahan massa tersebut dapat dinaikkan dengan menggunakan beberapa cara antara lain dengan meningkatkan pengadukan, konsentrasi reaktan atau temperatur larutan (Prentice, 1991).

2. EDTA

Asam etilen diamin tetra asetat atau yang lebih dikenal dengan EDTA adalah sebuah bahan pendesorpsi yang dapat membentuk senyawa kompleks dengan ion logam. Senyawa EDTA yang berfungsi sebagai penitrasi/pengompleks logam biasanya berupa garam Na_2EDTA ($\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}$). Na_2EDTA memiliki empat gugus asam karboksil dan dua gugus amin dengan sepasang elektron bebasnya (asam poliprotik), sehingga Na_2EDTA berpotensi sebagai ligan heksadentat yang dapat berkoordinasi dengan sebuah ion logam dengan perbandingan 1 : 1.

Dalam elektroplating, zat pengikat logam atau lebih dikenal dengan sekuestran banyak digunakan sebagai bahan penstabil. Sekuestran dapat mengikat logam dalam bentuk ikatan kompleks sehingga dapat mengalahkan sifat dan pengaruh jelek dari campuran ion logam pada bahan yang dilapisi. Oleh karenanya, senyawa ini dapat membantu menstabilkan warna dan teksturnya.



Gambar 4. Struktur Molekul Na_2EDTA

Ion logam dalam kompleks disebut atom pusat, gugus yang tergabung ke atom pusat disebut ligan dan jumlah ikatan yang terbentuk oleh atom logam pusat disebut angka koordinasi dari logam tersebut.

Untuk memperoleh ikatan koordinasi yang stabil, diperlukan ligan yang mampu membentuk cincin 5-6 sudut dengan sebuah logam. Ion logam terkoordinasi dengan pasangan elektron dari atom-atom nitrogen Na_2EDTA dan juga keempat gugus karboksil yang terdapat pada molekul Na_2EDTA (Winarno, 1982).

EDTA merupakan bahan tambahan organik. Penambahan bahan organik dapat mempengaruhi pengintian dan penumbuhan kinetik dari partikel-partikel

logam dibawah kondisi potensiostatik. EDTA menyediakan “efek sepi” dan halangan sterik yang menghalangi penumbuhan dan penumpukan partikel, juga dapat menurunkan tegangan permukaan, dapat memperkecil ukuran partikel dan membuat hasil deposisi lapisan pada permukaan menjadi lebih halus. Semakin halus permukaan lapisan semakin rendah laju korosi lapisan tipis (Taufik, 2009) dan meningkatkan kekerasan. Hal tersebut dikarenakan penambahan jumlah butiran (partikel) yang berubah akan meningkatkan energi permukaan dan mengurangi dislokasi, sehingga peningkatan kekerasan tergantung dari morfologi butiran sebagaimana pembentukan dari lapis tipis nanokristalin logam. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Thiagarajan, (2009) pada konsentrasi 0,100 mol/L EDTA mempengaruhi tekstur pembentukan dari lapis tipis nanokristalin CdS.

Pengaruh EDTA sebagai zat pengompleks yang berbeda-beda atas logam berlainan, memungkinkan elektrodposisi berbagai *alloy* logam yang sangat berjauhan letaknya pada deret daya gerak listrik. Kompleks mempengaruhi aktivitas ion logam, tergantung kuat ikatan pada kompleksnya.

Sekaitan aktivitas larutan, bila terdapat ion kompleks, penentuannya harus mempertimbangkan konstanta pembentukannya (kebalikan tetapan disosiasinya). Pembentukan ion kompleks adalah:

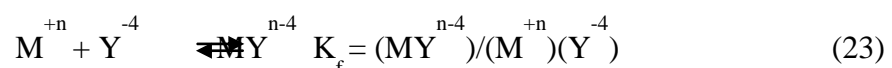


dimana X merupakan ion pengompleks dengan muatan p, dan q adalah bilangan koordinasi logam. Sehingga persamaan Nerst dapat ditulis:

$$E = E^0 M^{n+} - \left(\frac{RT}{nF}\right) \ln K_f + \left(\frac{RT}{nF}\right) \ln \left(\frac{a^{n-pq} M_x 2}{a_x^{p-q}}\right) \dots \dots \dots (22)$$

dengan K_f sebagai konstanta pembentukan, dan a merupakan aktivitas spesi yang bersangkutan (Hartomo dan Kaneko, 1992).

Nilai dari tetapan kesetimbangan untuk reaksi-reaksi ion logam dan bahan pengkelat seperti EDTA, dirumuskan sebagai berikut :



Kenaikan nilai K_f dapat disebabkan karena perubahan ion logam dan penurunan jari-jari ion.

Molekul EDTA memiliki enam spesies asam : H_6Y^{2+} , H_5Y^+ , H_4Y , H_3Y^- , H_2Y^{2-} dan HY^{3-} . Dua asam yang pertama merupakan asam-asam yang relatif kuat. Dalam penelitian ini, EDTA yang digunakan adalah spesies asam H_2Y^{2-} , sebab dua atom H pada spesies H_4Y digantikan dengan dua atom natrium (Vogel, 1982).

Tabel 1. Harga Konstanta Kestabilan Kompleks Logam dengan EDTA (K_f)

Ion logam	log K_f	Ion logam	log K_f
Fe^{3+}	25,1	Co^{2+}	16,3
Th^{4+}	23,2	Al^{3+}	16,1
Cr^{3+}	23,0	La^{3+}	15,4
Bi^{3+}	22,8	Fe^{2+}	14,3
Cu^{2+}	18,8	Mn^{2+}	14,0
Ni^{2+}	18,6	Ca^{2+}	10,7
Pb^{2+}	18,0	Mg^{2+}	8,7
Cd^{2+}	16,5	Sr^{2+}	8,6
Zn^{2+}	16,5	Ba^{2+}	7,8

(Wiryawan dkk., 2008).

3. Kekerasan *Micro Hardness Vickers*

Kekerasan suatu bahan didefinisikan sebagai ketahanan suatu bahan terhadap penetrasi (penekanan) material lain pada permukaannya. Proses pengujian logam kekerasan dapat diartikan sebagai kemampuan suatu bahan terhadap pembebanan dalam perubahan yang tetap, artinya ketika gaya tertentu diberikan pada suatu benda uji dan karena pengaruh pembebanan benda uji akan mengalami deformasi (perubahan bentuk). Harga kekerasan bahan tersebut dapat dianalisis dari besarnya pembebanan yang diberikan terhadap luasan bidang yang menerima pembebanan.

Pengujian kekerasan logam ini secara garis besar ada tiga metode yaitu penekanan, goresan dan dinamik. Proses pengujian yang mudah dan cepat dalam memperoleh angka kekerasan yaitu dengan metode penekanan. Dikenal ada tiga jenis metode penekanan, yaitu: *Rockwell*, *Brinell* dan *Vickers*, yang masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan. Pengujian kekerasan yang

digunakan dalam penelitian ini adalah dengan metode penekanan yaitu Vickers. Pada pengukuran kekerasan menurut *Vickers* sebuah intan yang berbentuk limas (piramida) dengan sudut puncak 136° ditekan pada bahannya dengan suatu gaya tertentu, maka pada bahannya terdapat cetakan (*afdruk*) dari intan ini. Cetakan ini bertambah besar kalau bahannya semakin lembek dan kalau beban bertambah.

Perhitungan kekerasan didasarkan pada panjang diagonal segi empat bekas injakan. Beban yang digunakan bervariasi dari 1 sampai 500 kg, beban standar adalah 5, 10, 20, 30, 50, 100 atau 120 kg. Nilai kekerasannya disebut dengan kekerasan HV atau VHN (*Vickers Hardness Number*) (Dieter, 1987). Adapun persamaan kekerasan *Vickers* (VHN) :

$$\text{VHN} = \frac{2 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)p}{L^2} = \frac{2 \sin\left(\frac{136^\circ}{2}\right)p}{L^2} = \frac{1,854p}{L^2}$$

dimana VHN = angka kekerasan Vickers (kg/mm^2)

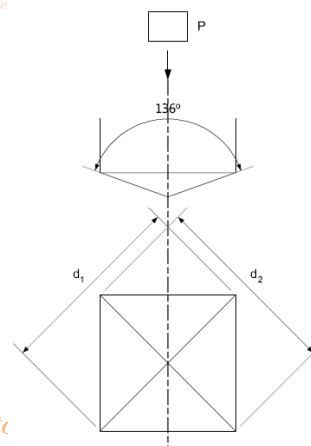
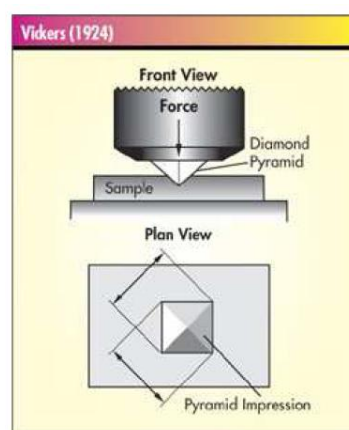
p = Beban tekan yang diberikan (Kg)

L = Panjang diagonal bekas injakan (mm)

θ = Sudut antara permukaan intan yang berlawanan = 136°

Keuntungan-keuntungan dari metode *Vickers* adalah:

- Dengan benda pendesak yang sama, baik kekerasan bahan yang keras maupun lembek dapat ditentukan.
- Pendesak yang kecil (kira-kira 0,5 mm) pada benda kerja yang harus diukur, hanya menyebabkan kerusakan kecil.
- Penentuan kekerasan pada benda-benda kerja tipis sangat mungkin dengan memilih gaya yang kecil (Encarta Microsoft, 2005).



Gambar 5. Media Pengujian *Vickers* (Suro, 2010).

Berikut daftar nilai kekerasan beberapa logam dengan 2 macam tipe pembuatan yaitu secara metalurgi dan elektrodeposisi.

Tabel 2. Nilai Kekerasan *Vickers* Beberapa Logam

No.	Logam	Nilai Kekerasan <i>vickers</i> (VHN) (Kg/mm ²)	
		Proses Pembuatan	
		<i>Metallurgical</i>	Elektrodeposisi
1.	Cadmium (Cd)	30	50
2.	Krom (Cr)	350	1000
3.	Kobalt (Co)	200	500
4.	Tembaga (Cu)	50	150
5.	Nikel (Ni)	150	500
6.	Seng (Zn)	30	130
7.	Timah (Sn)	10	10

Semakin tinggi angka kekerasan vickers (VHN) menunjukkan bahwa logam semakin keras (Hariyanti, 2007).

B. Kerangka Pemikiran

Dalam elektroplating, parameter dasar yang menyebabkan terjadinya endapan adalah adanya beda potensial antara katoda dan anoda. Agar elektroplating berlangsung, maka harus ada arus yang mengalir melalui sel elektrokimia. Saat arus mengalir, aktivitas di sekitar elektroda berubah sehingga menyebabkan *overpotential* (η).

$$\eta = E - E_{\text{Nernst}}$$

dan potensial sel yang harus diberikan dalam elektrolisis,

$$E_{\text{sell}} = (E_c - E_a) + \eta_{\text{total}} + I R \dots \dots \dots (24)$$

Bila pengendapan pada katoda telah berlangsung beberapa saat ion logam di sekitar katoda berkurang, potensial kesetimbangan merosot. Sesuai dengan persamaan Butler-Volmer (lihat pada persamaan 7) yang menunjukkan bahwa arus sebanding dengan *overpotential*, bila potensial besar maka arus i akan semakin besar. Akan tetapi hubungan *overpotential* dengan arus listrik tidak selalu linier. Bila *overpotential* semakin lebih besar, maka potensialnya sama

dengan rapatannya arus pertukaran (i_0). Karena dalam larutan arus (i) mempunyai batas, sehingga bila *overpotential* terlalu besar hubungannya menjadi logaritma. Kenaikan arus listrik akan mempercepat ion bermuatan membentuk inti Kristal. Oleh karena itu, endapan yang terbentuk lebih cepat daripada potensial rendah. Pada daerah *overpotential* rendah, antarmuka berperilaku seperti konduktor, yang memenuhi hukum Ohm, $E = I.R$.

Jika, terdapat sedikit *overpotential* positif, maka arus yang ada adalah arus anoda ($i > 0$ jika $\eta > 0$), dan jika terdapat sedikit *overpotential* negatif, merupakan arus katoda ($i < 0$ jika $\eta < 0$). Dalam penelitian ini potensial listrik yang digunakan besar dan positif, sehingga arus yang mengalir juga semakin besar. Hal tersebut sesuai dengan elektroda itu sebagai arus anoda dalam elektrolisa, maka eksponensial katoda dalam persamaan 7 menjadi jauh lebih kecil daripada eksponensial anoda, dan dapat diabaikan. Sehingga:

$$i(E) = i_0 \left[e^{\left(\alpha \frac{nF}{RT} (E - E_{\text{Nernst}}) \right)} \right]$$

dan menjadi;

$$\ln i(E) = \ln i_0 + \alpha \frac{nF}{RT} (E - E_{\text{Nernst}})$$

persamaan di atas menunjukkan grafik logaritma antara rapatannya arus terhadap *overpotential* disebut grafik Tafel. Kemiringannya menyatakan parameter koefisien transfer (α) dan perpotongan pada $\eta = 0$ menyatakan arus pertukaran (i_0) (Atkins, 1999).

Pengontrolan arus yang didapatkan dari grafik Tafel dilakukan untuk mengatur berat total logam yang terdeposisi. Berdasar hukum Faraday (lihat persamaan 16) untuk elektrolisis yaitu jumlah zat yang mengalami oksidasi atau reduksi pada tiap elektroda selama elektrolisis sebanding dengan jumlah arus yang lewat sel serta waktu yang dibutuhkan untuk elektroplating. Jadi pengaruh potensial listrik terhadap lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe hasil elektroplating pada substrat Cu berdasarkan pada persamaan Butler-Volmer menyatakan hubungan logaritma antara *overpotential* dengan arus listrik. Sedangkan penentuan berat lapisannya berdasarkan hukum Faraday menyatakan hubungan linier antara arus listrik dengan berat lapisan.

Arus listrik berhubungan dengan laju deposisi ion Zn^{2+} , Ni^{2+} dan Fe^{2+} serta transfer elektron. Laju deposisi berpengaruh pada proses deposisi dan deposit yang terbentuk. Potensial listrik yang kecil menyebabkan arus listrik yang mengalir kecil dan mengakibatkan pergerakan ion terlalu lambat, sehingga pertumbuhan deposit permulaan belum sempurna yang menyebabkan seluruh luas bidang pelapisan belum terlapi. Adapun potensial listrik yang terlalu tinggi menyebabkan laju deposisi sangat cepat. Laju deposisi yang cepat menyebabkan deposit tidak mampu melakukan deposisi (menata/mengarahkan diri) ke posisi yang stabil karena deposisi permulaan belum sempurna selesai, tetapi sudah disusul deposisi berikutnya. Hal ini menyebabkan pertumbuhan deposit akan berupa butiran-butiran kristal besar dan menghasilkan susunan deposit yang tidak teratur serta tidak penuh. Susunan yang tidak penuh menghasilkan ikatan antar deposit kurang kuat sehingga deposit yang menempel pada substrat katoda semakin sedikit, dan sisanya rontok. Oleh sebab itu, semakin besar potensial listrik yang diberikan akan menyebabkan nilai optimum pada karakter lapisan. *Fitting* nilai optimum dengan satu puncak dapat dilakukan dengan tiga kurva *fitting* yang umum digunakan yaitu; eksponensial, kuadrat dan linier.

Fitting linier yang mempunyai nilai optimum, minimal berupa bilinier (patahan). *Fitting* bilinier dicirikan oleh grafik yang tersusun atas dua segmen yang jelas bedanya, setiap segmen berupa garis linier dan segmen-segmen itu mempunyai slope yang berbeda. *Fitting* linier itu istimewa karena untuk data yang diplotkan pada jarak-jarak tertentu yang kecil atau relatif kecil apapun model *fitting*nya, linier akan sesuai. Akan tetapi kalau linier sederhana (satu garis lurus) tidak akan mempunyai titik optimum, yang dapat memiliki titik optimum adalah bilinier (patahan). Kalau *fitting* eksponensial mempunyai nilai optimum pada e^∞ tetapi karena asimtotik maka puncak sebelum tak terhingga yang mendekati harga tak terhingga terdapat pada nilai optimum kecil. Jadi yang paling halus lapisan yang terbentuk itu terdapat pada nilai optimum paling kecil. Sedangkan untuk *fitting* kuadrat untuk mendapatkan nilai optimum dilihat dari nilai konstanta b yang positif, jika negatif maka akan menjadi tak terhingga dan tidak mungkin

terjadi. Kelebihan model *fitting* kuadratik adalah hasil yang memuaskan ditinjau dari ketelitian nilai-nilai *trend* yang didapat.

Selain itu, pada potensial listrik tinggi, juga mengakibatkan terbentuknya gas H_2 (hasil reaksi reduksi ion H^+) semakin banyak. Apabila Gas H_2 teradsorpsi dan terjebak pada katoda akan menghasilkan lapisan yang rapuh, karena Gas H_2 akan menghasilkan pori (lubang) relatif lebih besar dari atom logamnya. Fenomena ini disebut sebagai kerapuhan hidrogen (*hydrogen embrittlement*). Potensial listrik tinggi juga dapat menyebabkan timbulnya panas. Akibatnya menghasilkan deposit yang kusam (Purwanto dan Syamsul, 2005).

Kaitannya dalam penelitian ini, karakterisasi lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe ditinjau dari aspek berat total, tekstur dan nilai kekerasan.

- a) Berat total lapisan, semakin besar potensial listrik menghasilkan berat total lapisan yang semakin besar. Berat total lapisan yang diperoleh dapat digunakan untuk menentukan ketebalan total lapisannya. Semakin berat lapisan yang dihasilkan semakin tebal lapisan yang terbentuk, jika diasumsikan komposisi masing-masing logam tidak mempengaruhi nilai berat jenis (ρ) dari pelapisan sehingga ketebalan total lapisan sebanding dengan berat total lapisan per satuan luas permukaan lapisan pada substrat katoda. Oleh sebab itu, semakin besar potensial listrik menghasilkan berat dan ketebalan total lapisan yang besar. Namun, pada potensial listrik yang besar berat dan ketebalan total lapisan yang terbentuk pada akhirnya menjadi tidak rata dan kemungkinan akan menjadi rapuh karena ikatan antar deposit kurang kuat sehingga dimungkinkan tidak menempel dengan kuat.
- b) Tekstur permukaan berhubungan dengan orientasi penataan deposit dan ukuran deposit. Semakin cepat penyusunan suatu sistem akan menghasilkan sesuatu yang tidak teratur. Semakin besar potensial listrik maka laju deposisi semakin besar, menghasilkan pertumbuhan deposit yang tidak teratur berupa butiran-butiran kristal. Semakin tinggi potensial listrik akan mengakibatkan tekstur menjadi kasar.
- c) Kekerasan suatu material berhubungan dengan ketebalan lapisan dan keteraturan penataan atom dan jenis atom penyusunnya. Dalam proses

deposisi, susunan deposit yang tebal, teratur dan penuh akan menghasilkan lapisan yang keras. Semakin besar potensial listrik menghasilkan susunan deposit yang tidak teratur dan tidak penuh. Hal ini akan mengakibatkan semakin menurunnya tingkat kekerasan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe. Akan tetapi bila gaya adhesi lapisannya kuat dan kekuatan tumbukannya semakin besar, dengan semakin besarnya potensial listrik maka ini dapat meminimalisir menurunnya nilai kekerasan akibat ketidakteraturan deposit sehingga nilai kekerasan akan tetap meningkat dengan meningkatnya potensial listrik.

Variasi potensial listrik pada proses elektroplating lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe dengan adanya EDTA akan memberikan pengaruh terhadap berat total, tekstur dan nilai kekerasan dimana pada potensial listrik tertentu, akan diperoleh berat total, tekstur dan kekerasan optimum. Proses elektroplating lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe dengan kualitas yang baik adalah lapisan yang telah melapisi seluruh area substrat, dengan tekstur yang halus dan tingkat kekerasan yang tinggi.

Pengaruh konsentrasi EDTA dalam larutan elektrolit berfungsi sebagai agen pengompleks. Dalam larutan cair EDTA biasanya berupa garam Na_2EDTA dapat berkoordinasi dengan sebuah ion logam dengan perbandingan rasio 1:1. Molekul Na_2EDTA memiliki atom donor yang memiliki pasangan elektron bebas dari atom-atom nitrogen dan juga keempat gugus karboksilnya. Ketika EDTA ditambahkan dalam larutan elektrolit lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe, dengan adanya atom donor elektron memungkinkan EDTA berinteraksi dengan ion Zn^{2+} , Ni^{2+} dan/atau Fe^{2+} membentuk ikatan koordinasi menghasilkan senyawa kompleks Zn-EDTA, Ni-EDTA dan/atau Fe-EDTA. Dengan terbentuknya kompleks tersebut diduga dapat menurunkan laju deposisi ion Zn^{2+} , Ni^{2+} dan Fe^{2+} . Hal ini dapat terjadi karena deposisi ion Zn^{2+} , Ni^{2+} dan Fe^{2+} menuju katoda (substrat) mendapatkan penyempitan dan rintangan/halangan sterik dari kompleks EDTA. Sehingga laju deposisi ion Zn^{2+} , Ni^{2+} dan Fe^{2+} menjadi menurun.

Ketika pergerakan deposisi ion logam menjadi lambat (tidak terlalu cepat), memungkinkan deposit melakukan deposisi (menata/mengarahkan diri ke posisi

yang nyaman) ke titik-titik pertumbuhan pada permukaan katoda. Maka akan dihasilkan deposit yang baik dan lembut sehingga menyebabkan lapisannya terlihat cerah. Semakin halus permukaan lapisan semakin rendah laju korosi lapisan tipis dan meningkatkan kekerasan. Hal tersebut dikarenakan penambahan jumlah butiran yang berubah akan meningkatkan energi permukaan dan mengurangi dislokasi sehingga peningkatan kekerasan tergantung dari morfologi butiran sebagaimana pembentukan dari lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe. Pengaruh konsentrasi EDTA dapat ditinjau dari pengaruh potensial kerja optimum dari karakter berat total, ukuran butiran dan nilai kekerasan.

Variasi konsentrasi EDTA dalam proses elektroplating lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe akan memberikan pengaruh terhadap berat total, tekstur dan kekerasan. Pada konsentrasi tertentu akan diperoleh berat total, tekstur dan nilai kekerasan optimum lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe.

C. HIPOTESIS

Dari uraian sebelumnya pada kerangka pemikiran, maka dapat diambil suatu dugaan awal bahwa:

1. Pengaruh potensial kerja terhadap karakteristik berat total, tekstur dan kekerasan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe pada substrat Cu dengan adanya EDTA dapat dibuat *fitting* optimum dengan model *trend* kuadratik.
2. Pengaruh konsentrasi EDTA terhadap karakteristik berat total, tekstur dan kekerasan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe pada substrat Cu dapat dibuat *fitting* optimum dengan model *trend* kuadratik.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental laboratoris. Proses pelapisan Zn-Ni-Fe menggunakan metode elektroplating dengan logam tembaga sebagai katoda dan logam platina sebagai anoda. Proses elektrolisis menggunakan alat analitik analiser elektrolisis Yanaco AES-2D dengan ketelitian 10^{-2} volt. Untuk mengetahui kualitas pelapisan logam dilakukan analisa berat lapisan dengan neraca timbangan listrik Sartorius BP 3103 dengan ketelitian 10^{-3} g dan kapasitas 310 g, analisa tekstur permukaan lapisan dengan mikroskop optik XSP-12 dengan perbesaran 400 kali dan ketelitian pengukuran sampai *micrometer*. Analisa kekerasan menggunakan alat uji kekerasan *Vickers* dengan beban 50 g dan lama penekanan 10 detik.

B. Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian dilakukan di Sub Lab. Kimia Laboratorium Pusat FMIPA UNS. Pemotongan plat tembaga dilakukan di Bengkel Mesin “Mantep”, Jl. Veteran 98 Solo. Pemolesan plat tembaga dilakukan di Bengkel Chrom ”Hartono Chrom”, Ngruki Rt 04/XVI Surakarta. Uji kekerasan dilakukan di Lab. Material Fakultas Teknik Mesin UNS. Waktu penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2009 - Agustus 2010.

C. Alat dan Bahan

1. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. *Analytic Analyzer Electrolysis* “Yanaco” AES-2D
- b. *Magnetic stirrer*
- c. Anoda Platina
- d. Neraca analitis, max = 310 g; d = 0,001 g, Model : BP 3103 “Sartorius”

- e. *Stopwatch*, “Hanhart”
- f. Jangka Sorong, “Pitutoyo”
- g. Mesin *Scrap* Model : 635-1
- h. Mesin *Fris* Model : X6125A
- i. *Drilling & Milling Machine*
- j. Mesin poles mekanik
- k. Mikroskop Optik Model XSP-12
- l. Kamera digital, Model : 7.0 M Zoom”Mpix”
- m. *Microhardness Tester Vickers* HWMMT X 7 merk Underwood dengan TV display merk matsuzawa.
- n. Peralatan Gelas.

2. Bahan

Bahan kimia yang digunakan di antaranya sbb :

- a. ZnCl_2 p.a. “Merck”
- b. $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ p.a. “Merck”
- c. $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ p.a. “Merck”
- d. H_3BO_3 p.a. “Merck”
- e. NH_4Cl p.a. “Merck”
- f. Gelatine p.a. “Merck”
- g. EDTA p.a. “Merck”
- h. HCl 10% p.a. “Merck”
- i. Aseton teknik
- j. Akuades
- k. Isolatif *Electrical* tape merk unibell

D. Prosedur Penelitian

1. Pemotongan Plat Tembaga

Tembaga merupakan logam yang sangat ulet, sehingga akan mengalami kesulitan ketika melakukan pemotongan manual dengan gergaji besi (karena akan memberikan hasil potongan yang kurang rata, tidak presisi, dan tingkat keterulangan produksi yang rendah untuk taraf penelitian. Selain itu tembaga merupakan logam yang cukup lunak sehingga jika tidak hati-hati dalam pengerjaannya dapat menyebabkan cacat pada permukaannya. Maka untuk mengatasi permasalahan tersebut pemotongan tembaga dalam penelitian ini, dilakukan dengan menggunakan mesin potong *Scrap* dan *Fris* (lihat Gambar 6) yang dioperasikan oleh teknisi Bengkel Mesin “Mantep”, Jl. Veteran 98 Solo. Spesimen plat tembaga yang digunakan berbentuk *strip*, dipotong kecil-kecil dengan dimensi $(2,5 \times 4) \pm 0,01$ cm.



(a)



(b)

Gambar 6. Mesin untuk Memotong & Meratakan Permukaan Plat Tembaga
(a) Mesin *Scrap* Model B635, (b) Mesin *Fris* Model X6125A

2. Penghalusan Permukaan Plat Tembaga

Beberapa bukti menyebutkan bahwa kondisi (alami) tekstur permukaan logam dasar (substrat) berpengaruh pada pertumbuhan kristal deposit elektroplating. Setidaknya pada lapisan pertama deposit, merupakan lanjutan dari kondisi awal logam dasar (substrat) tersebut (Glasstone, 1942). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka permukaan plat tembaga perlu diratakan dan dihaluskan. Dalam penelitian ini, perlakuan tersebut dikerjakan dengan mesin “*scrap*” dan “*fris*” (lihat Gambar 6), kemudian di-*finishing* menggunakan mesin

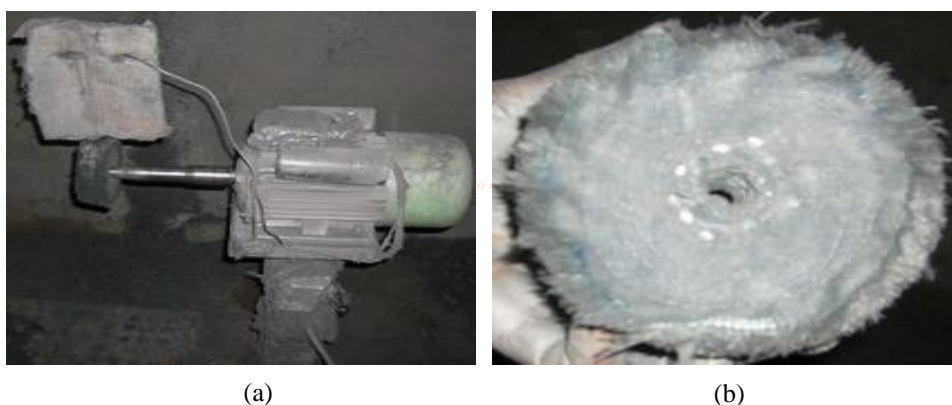
“drilling & milling machine” yang dilengkapi dengan amril “dico” halus dengan tingkat ukuran 0,5 (lihat Gambar 7).



Gambar 7. (a) “Drilling & Milling Machine”, (b) Amril “Dico” Halus Ukuran 0,5

3. Pemolesan Plat Tembaga Secara Mekanik (*Mechanical Polishing*)

Pemolesan secara mekanik merupakan salah satu *pretreatment* fisika sebelum benda kerja (substrat) siap untuk dielektroplating. Perlakuan tersebut bertujuan untuk menghilangkan kotoran-kotoran atau lemak yang terdapat pada permukaan substrat (plat tembaga). Tingkat keberhasilan pemolesan ditunjukkan dengan permukaan tembaga terlihat semakin mengkilap. Dalam penelitian ini, proses pemolesan dikerjakan oleh teknisi bengkel chrom “Hartono Chrom”, Ngruki Rt 04/XVI Surakarta. Mesin pemolesan ditunjukkan oleh Gambar 8.



Gambar 8. (a) Mesin Poles Mekanik, (b) Kain Poles

4. Persiapan Plat Tembaga (Katoda) Sebelum Elektroplating Zn-Ni-Fe (*Pretreatment Electroplating*)

Selain *pretreatment* fisika di atas, substrat *strip* plat tembaga juga diberikan *pretreatment* kimia agar permukaannya lebih bersih dan lebih siap untuk dilapisi/dielektroplating. Karena kebersihan permukaan substrat mempengaruhi kelekatan deposit dan hasil akhir pelapisan. *Pretreatment* kimia untuk logam dasar tembaga :

1. Menghilangkan lemak (*degreasing*) dengan dicelupkan dalam larutan aseton teknik. Kemudian dikeringkan.
2. Menghilangkan karat pada suasana asam (*pickling*) dengan dicelupkan dalam larutan HCl 10% beberapa menit hingga permukaannya terlihat cerah dan kemudian dilap dengan kain bersih.
3. Membilas (*rinsing*) dengan akuades. Setelah plat tembaga dibilas, lalu dikeringkan menggunakan tisu dan lap bersih.

5. Pembuatan Larutan Elektrolit & Proses Elektroplating Zn-Ni-Fe

a. Penyiapan Larutan Elektroplating Zn-Ni-Fe

Tabel 3. Formulasi Larutan Elektroplating Zn-Ni-Fe (Karahen, 2008).

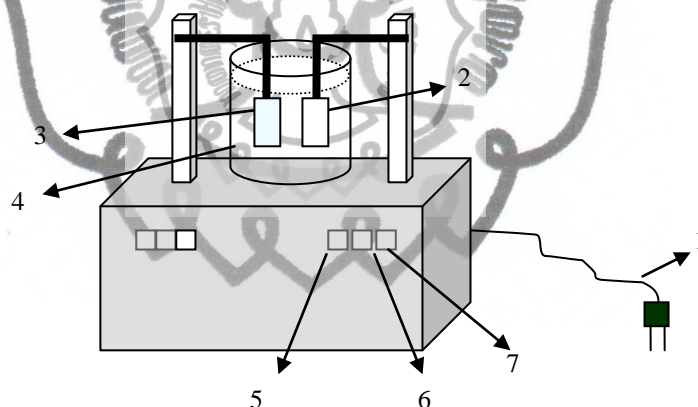
No.	Komposisi Bahan	Konsentrasi (gL^{-1})
1.	ZnCl_2	40
2.	$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	10
3.	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	10
5.	H_3BO_3	16
6.	NH_4Cl	25
7.	Gelantine	1
8.	Akuades	disesuaikan kebutuhan <i>volume</i>

Kemudian dilanjutkan pembuatan larutan elektrolit dengan penambahan agen pengompleks *Ethylenediamine tetra acetic acid* (EDTA) dengan variasi konsentrasi 0,000; 0,025; 0,050; 0,100; 0,200 mol/L.

b. Prosedur Kerja Elektroplating Zn-Ni-Fe

Sebelum pengerjaan Elektroplating Zn-Ni-Fe, *strip* plat tembaga dipasang isolasi (*electrical tape*) terlebih dahulu dengan tujuan untuk menutup bagian yang tidak ingin diplating, sehingga didapatkan suatu ukuran luasan 2,5 cm x 3 cm yang akan dipakai untuk acuan pemberian arus. Selanjutnya ditimbang untuk mengetahui berat sebelum dielektroplating.

Proses Elektroplating Zn-Ni-Fe menggunakan prinsip Elektrolisis Sistem Dua Elektroda, yang terdiri dari satu buah Anoda dan satu buah Katoda. Posisi Anoda dan Katoda saling berhadapan. Logam yang dilapisi (sebagai Katoda) adalah Cu (2,5 cm x 3 cm). Sedangkan Anodanya adalah Pt (1,5 cm x 1,5 cm). Jarak antar elektroda adalah 5 cm. Elektrolisis dikerjakan selama 10 menit, tanpa pengadukan. Untuk setiap pengerjaan Elektroplating lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe membutuhkan 125 ml campuran larutan pada Tabel 3.



Gambar 9. Alat Elektrolisis *Analytic Analyser*

Keterangan gambar :

1. Saklar
2. Anoda (Pt)
3. Katoda (Cu ukuran 2,5x3x0,4 cm)
4. Bak larutan elektrolit berbahan *polyethelene*
5. Tombol pengatur potensial kerja (untuk voltase terkontrol)/arus (untuk arus terkontrol)
6. Tombol Pengatur suhu
7. Tombol Pengaduk Magnetik

Prosedur kerja dalam penggunaan alat Elektrolisis *Analytic Analyzer Electrolysis* Yanaco AES-2D adalah :

- a. Menghidupkan dan memanaskan alat *analytic analyzer* selama beberapa menit (15 menit)
- b. Mengatur tombol potensial listrik
- c. Memasang elektroda pada klem elektroda (plat Cu pada kutub negatif dan platina pada kutub positif)
- d. Meletakkan larutan elektrolit dalam bak plating (125 ml) pada tempat sampel
- e. Menurunkan klem elektroda dan memasukkan elektroda ke dalam larutan elektrolit dengan waktu 10 menit
- f. Setelah selesai, elektroda diangkat dari larutan elektrolit dengan hati-hati kemudian mematikan alat *analytic analyser*

6. Tahap Karakterisasi

- a. Berat Total Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe

Pengukuran berat total lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe dilakukan pengulangan tiga sampel (triplo). Berat total lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe dihitung dari selisih pengukuran berat katoda (plat + isolasi) sebelum dan sesudah proses elektrolisis. Pengukuran berat total lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe menggunakan neraca analitik “Sartorius” model : BP 3103 dengan ketelitian 1×10^{-3} g.

- b. Tekstur Mikroskopi Permukaan Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe

Tekstur permukaan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe yang tidak dapat diamati secara kasat mata, dianalisa dengan uji foto mikroskopik. Uji tersebut dikerjakan dengan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 400x (lensa *ocular* 10x dan lensa *objective* 40x) kemudian ditangkap dengan kamera digital “Mpix 7.0 M Zoom” dengan perbesaran 6x.



Gambar 10. Alat Mikroskop Optik XSP-12 dan Sumber Cahaya

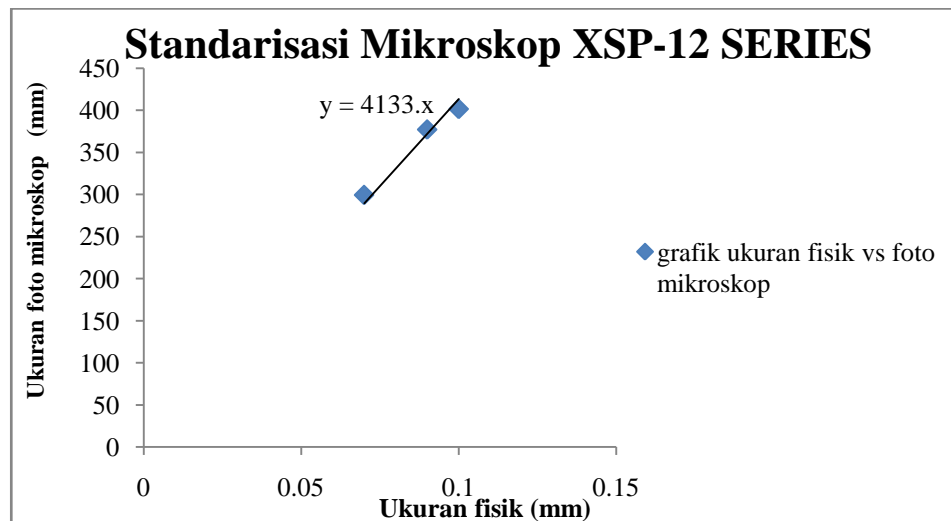
Analisa mikroskopik permukaan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe ditujukan untuk mengetahui tekstur mikroskopik permukaan deposit (kualitatif); dan diameter deposit (kuantitatif). Untuk mendukung tujuan kuantitatif tersebut diperlukan standarisasi mikroskop guna mengetahui dan meng-*cross check* perbesaran total yang diberikan mikroskop. Prinsip standarisasi ini adalah membandingkan ukuran *real* standar dengan ukuran hasil pengamatan mikroskop dengan pengolahan data melalui software komputer “Adobe Photoshop CS 3”.

Tabel 4. Perbandingan Ukuran Suatu Standar Secara *Real* dan Mikroskop

No	Nama Standar	Ukuran Fisik Standar (mm)	Ukuran Foto Mikroskop Standar (mm)
1	Standar 1	0,07	299,4
2	Standar 2	0,09	377,2
3	Standar 3	0,10	401,6

Keterangan : standar yang digunakan adalah serabut kabel tembaga dengan berbagai ukuran.

Dari data Tabel 4 diperoleh kurva standarisasi mikroskop pada Gambar 11, digunakan untuk mengetahui dan meng-*cross check* perbesaran mikroskop optik.



Gambar 11. Kurva Standarisasi Mikroskop Optik XSP-12

Berdasarkan Gambar 11 di atas diketahui bahwa perbesaran mikroskop adalah 4133 kali yang dinyatakan dalam persamaan garis lurus $y=4133x$, hasil tersebut sesuai dengan kondisi percobaan ketika mengoperasikan mikroskop.

c. Karakterisasi Kekerasan

Tujuan dari karakterisasi ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi penambahan EDTA terhadap tingkat kekerasan deposit campuran Zn-Ni-Fe. Alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kekerasan sampel adalah *Microhardness Vickers*. Pengujian yang dilakukan menggunakan beban indenter 50 gram dengan selang pengindenan 10 detik. Indenter yang dipakai adalah piramida intan jenis Vickers.



Gambar 12. Alat uji kekerasan *Microhardness Tester* HWMMT X 7 merk Underwood dengan TV Display merk Matsuzawa

Prosedur kerja dalam penggunaan alat uji kekerasan tersebut adalah :

- 1) Sampel diletakkan pada holder sampel yang dilengkapi penjepit sampel dan pengatur letak yang dapat digeser maju-mundur dan kiri kanan.
- 2) Mesin *Microhardness Tester* dihidupkan.
- 3) Alat *disetting* dengan beban indentor 50 gram dan waktu pengindenan 10 detik.
- 4) Permukaan sampel dicari dan ditentukan daerah titik pengindenan, daerah yang dipilih haruslah daerah yang baik tekstur permukaannya.
- 5) Lensa mikroskop diganti dengan indentor piramida jenis Vickers, kemudian dilakukan pengindenan.
- 6) Tekstur permukaan sampel dicari kembali dan diletakkan 2 garis vertikal pada ujung-ujung jejak indentasi.
- 7) Tombol *read out* ditekan untuk mendapatkan nilai kekerasan sampel.

Angka kekerasan Vickers (VHN = *Vickers Hardness Number*) dihitung :

$$VHN = \frac{2p \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{1,854 p}{d^2}$$

dimana :

p = beban indentor yang diberikan (g)

d = panjang diagonal jejak indentor (mm)

θ = sudut puncak piramida indentor (136°)

d. Tekstur Fisik Permukaan Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe

Analisa tekstur fisik permukaan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe dengan variasi konsentrasi penggunaan EDTA 0,000; 0,025; 0,050; 0,100; 0,200 mol/L ditinjau dari segi Kenampakan Lapisan, dan Kerataan Lapisan secara fisik permukaan atau penglihatan kasat mata.

E. Teknik Pengumpulan Data dan Analisa Data

1. Pengumpulan Data

Dari penelitian ini akan diperoleh data sebagai berikut :

- a. Berat Total Plating Campuran Zn-Ni-Fe (gr).

Data tersebut diperoleh dengan menggunakan metode penimbangan (*gravimetric*). Berat substrat Cu sebelum deposisi dikurangi dengan berat substrat sesudah deposisi. Perolehan selisih berat keduanya merupakan berat total dari lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe itu sendiri.

- b. Foto Mikroskop Tekstur Permukaan Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe.

Data tersebut diperoleh dengan melakukan pengamatan foto mikroskopik tekstur permukaan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe. Dikerjakan menggunakan mikroskop optik model XSP-12 dengan perbesaran 400x (lensa *ocular* 10x dan lensa *objective* 40x), kemudian ditangkap oleh kamera digital "Mpix" 7.0 M dengan *dizoom* perbesaran 6x.

Pengamatan dilakukan terhadap semua hasil elektroplating lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe, dengan tujuan untuk mengetahui karakter mikroskopiknya meliputi: tekstur mikroskopik dan ukuran rata-rata deposit.

- c. Angka Kekerasan Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe.

Data tersebut diperoleh dengan melakukan pengindenan selama 10 detik dengan menggunakan beban indenter piramida intan jenis Vickers 50 gram. Pengamatan dilakukan terhadap semua hasil lapisan elektroplating campuran Zn-Ni-Fe, dengan tujuan untuk mengetahui kekerasan deposit.

Eksperimen yang dilakukan adalah melibatkan dua variabel bebas (X) dan tiga variabel terikat (Y), pada Tabel 5. dimana :

Variabel bebas adalah :

(X_a) = potensial kerja, (X_b) = variasi konsentrasi EDTA

Variabel terikat adalah :

Y_a = berat lapisan, Y_b = ukuran butiran, Y_c = kekerasan

Tabel 5. Teknik Pengumpulan Data

Set	Kontrol	Eksperimen	
Bebas	X_b		
X_a Variasi Potensial Kerja (volt)	0	Variasi konsentrasi EDTA	
	Terikat		
	Y_a Berat lapisan (mgr)	Y_b Ukuran butiran (μm)	Y_c Kekerasan (Hv)
2,50			
3,00			
4,00			
5,00			

Set kontrol adalah pada $X = 0$ (tanpa penambahan EDTA)

Set eksperimen adalah (variasi penambahan EDTA) dengan variasi potensial kerja X_{a1} sampai dengan X_{a4} berturut-turut 2,50; 3,00; 4,00; 5,00 volt dan variasi konsentrasi EDTA X_{b1} sampai dengan X_{b5} berturut-turut 0,000; 0,025; 0,050; 0,100; 0,200 mol/L.

2. Analisa Data

a. Pengaruh Potensial Kerja

Analisa data pada penelitian ini dengan membuat tabel antara X_a , Y_a , Y_b , dan Y_c .

Tabel 6. Bentuk Tabulasi Analisa Data Pengaruh Potensial Kerja terhadap Karakter Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe

X_a Variasi potensial kerja (volt)	Y_a Berat total lapisan (mg)	Y_b Ukuran butiran (μm)	Y_c Kekerasan (VHN)
2,50			
3,00			
4,00			
5,00			

Selanjutnya dilakukan analisis *trendline* dengan cara dibuat grafik hubungan Y_a terhadap X_a , Y_b terhadap X_a dan Y_c terhadap X_a . Tujuannya untuk mengetahui model *fitting* yang sesuai untuk menentukan pengaruh potensial kerja terhadap berat total, ukuran butiran deposit dan kekerasan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe.

b. Pengaruh Penambahan Konsentrasi EDTA

Analisa data pada penelitian ini dengan menggunakan titik-titik potensial kerja optimum pada variabel-variabel terikat dan bebas, dengan rumus:

$$\frac{dy}{dx} = 2ax_{opt} + b = 0$$

$$2ax_{opt} = -b$$

$$x_{opt} = \frac{-b}{2a}$$

x_{opt} sebagai V_x adalah variabel terikat pada masing-masing karakter lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe. Variabel bebas adalah: X_b = variasi konsentrasi EDTA.

Fungsi titik-titik potensial kerja optimum adalah untuk mendapatkan potensial kerja optimum. Kemudian dibuat tabel

Tabel 7. Bentuk Tabulasi Analisa Data Pengaruh Penambahan Konsentrasi EDTA terhadap Karakter Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe

X_b (mol/L)	V_a (volt)	V_b (volt)	V_c (volt)
0,025			
0,050			
0,100			
0,200			

Selanjutnya dilakukan analisis *trendline* dari data yang dihasilkan dengan cara dibuat grafik hubungan V_a terhadap X_b , grafik hubungan V_b terhadap X_b dan grafik hubungan V_c terhadap X_b . Tujuannya untuk mendapatkan konsentrasi EDTA yang optimum terhadap berat total, ukuran butiran dan kekerasan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Data yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah berat total, ukuran butiran deposit permukaan, dan nilai kekerasan logam lapisan campuran seng, nikel dan besi sebagai variabel terikat. Variasi potensial kerja dan variasi konsentrasi *Ethylenediamine tetra acetic acid* (EDTA) secara terpisah sebagai variabel bebas. Variabel bebas ditentukan pada potensial kerja 2,50; 3,00; 4,00; 5,00 volt dan pada konsentrasi *Ethylenediamine tetra acetic acid* (EDTA) 0,000; 0,025; 0,050; 0,100; 0,200 mol/L.

Elektroda yang digunakan adalah tembaga dan platina. Tembaga digunakan sebagai substrat terletak pada katoda sedangkan pada anoda menggunakan platina. Luas tembaga yang dilapisi adalah 2,5 x 3 cm dengan jarak elektroda adalah 5 cm. Platina dipilih karena bersifat inert dan memiliki *overpotential* hidrogen dan oksigen yang kecil sehingga gas hidrogen dan oksigen yang timbul akan sedikit.

Pengujian karakteristik lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe pada substrat Cu dilakukan sebanyak tiga kali pengukuran tiap-tiap sampel. Kriteria yang paling baik adalah mempunyai ukuran butiran halus, keras dan cerah. Pengujian tekstur permukaan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe dilakukan dengan pengambilan tekstur permukaan pada seluruh bagian. Hasil Pengujian dapat dilihat pada Tabel 8 dan selengkapnya pada Gambar Lampiran 10-29. Tekstur permukaan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe dikategorikan dalam urutan A, B, C. Kategori tekstur lapisan campuran seng, nikel dan besi ini berdasarkan ukuran butiran atau kelompok butiran lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe yang menempel pada tembaga (dalam satuan mikrometer). Keterangan kriteria tekstur lapisan sebagai


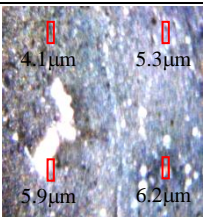
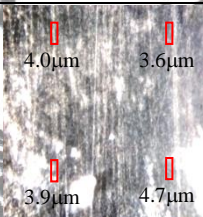
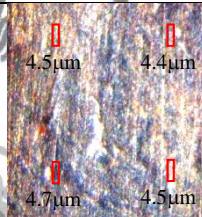
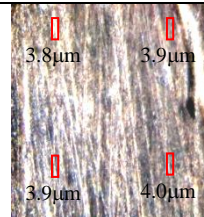
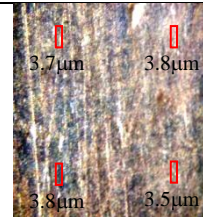

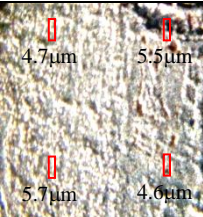
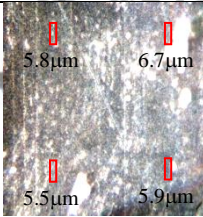
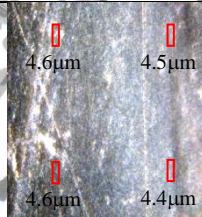
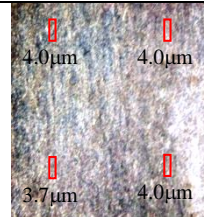
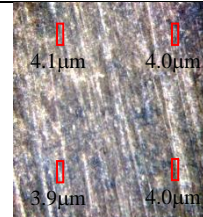

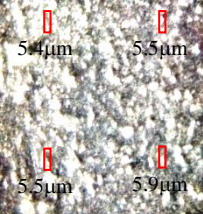
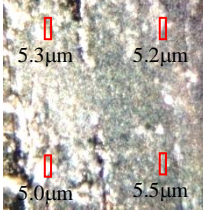
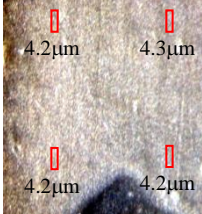
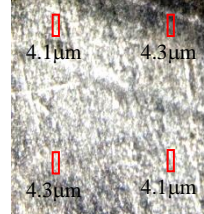
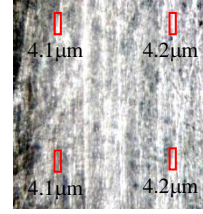
A : halus (3,00-3,99 μm)


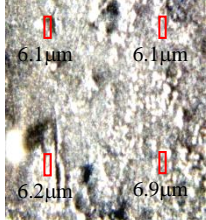
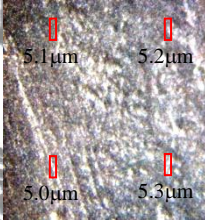
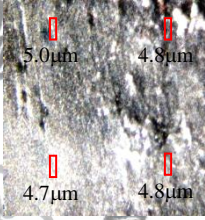
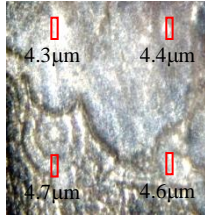
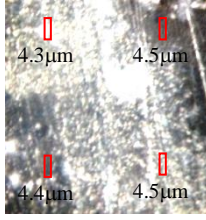
B : sedang (4,00-4,99 μm)

C : kasar (5,00-5,99 μm)

Pengujian lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe dengan derajat kesalahan ± 2 Sd (Sd = standar deviasi) dapat dilihat pada Tabel 9 dan Lampiran 4 sampai 6.

Tabel 8. Penampakan Fisik Permukaan Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe

Potensial Kerja (volt)	Substrat Tembaga	Konsentrasi EDTA 0,000 mol/L	Konsentrasi EDTA 0,025 mol/L	Konsentrasi EDTA 0,050 mol/L	Konsentrasi EDTA 0,100 mol/L	Konsentrasi EDTA 0,200 mol/L
2,50						
Keterangan	- Belum diplating	- Warna cerah - Butiran agak kasar	- Warna agak kusam - Butiran agak kasar	- Warna cerah - Butiran agak halus	- Warna agak kusam - Butiran halus	- Warna agak kusam - Butiran halus
3,00						
Keterangan	- Belum diplating	- Warna cerah - Butiran agak kasar	- Warna agak kusam - Butiran agak kasar	- Warna agak kusam - Butiran agak halus	- Warna cerah - Butiran halus	- Warna kusam - Butiran halus
4,00						

Keterangan	- Belum diplating	- Warna cerah - Butiran kasar	- Warna cerah - Butiran kasar	- Warna agak kusam - Butiran agak halus	- Warna cerah - butiran agak halus	- Warna agak kusam - Butiran agak halus
5,00						
Keterangan	- Belum diplating	- Warna cerah - Butiran kasar	- Warna cerah - Butiran kasar	- Warna agak kusam - Butiran agak halus	- Warna cerah - Butiran agak halus	- Warna kusam - Butiran agak halus

Tabel 9. Hasil Karakterisasi Pelapisan Campuran Zn-Ni-Fe pada Substrat Cu

a. Kontrol

Variasi Potensial Kerja (volt)	0,000 M EDTA			
	Berat Lapisan (mgr)	Butiran		Kekerasan (Hv)
		Ukuran (μm)	Kriteria	
2,50	$1,3 \pm 1,2$	$4,37 \pm 2,06$	B	$103,7 \pm 3,2$
3,00	$2,7 \pm 1,2$	$4,94 \pm 1,28$	B	$113,6 \pm 0,8$
4,00	$4,0 \pm 0,0$	$5,24 \pm 0,86$	C	$114,6 \pm 7,4$
5,00	$5,0 \pm 2,0$	$5,50 \pm 1,24$	C	$116,0 \pm 6,4$

Variasi Potensial Kerja (volt)	0,025 M EDTA			
	Berat Lapisan (mgr)	Butiran		Kekerasan (Hv)
		Ukuran (μm)	Kriteria	
2,50	$1,0 \pm 0,0$	$4,31 \pm 1,32$	B	$131,3 \pm 13,2$
3,00	$2,3 \pm 1,2$	$4,87 \pm 1,22$	B	$139,8 \pm 1,2$
4,00	$3,3 \pm 1,2$	$5,18 \pm 0,98$	C	$145,1 \pm 5,6$
5,00	$4,3 \pm 1,2$	$5,31 \pm 0,60$	C	$151,1 \pm 6,4$

Variasi Potensial Kerja (volt)	0,050 M EDTA			
	Berat Lapisan (mgr)	Butiran		Kekerasan (Hv)
		Ukuran (μm)	Kriteria	
2,50	$1,0 \pm 0,0$	$4,25 \pm 0,64$	B	$125,2 \pm 1,8$
3,00	$1,7 \pm 1,2$	$4,34 \pm 0,58$	B	$132,0 \pm 6,6$
4,00	$3,0 \pm 2,0$	$4,51 \pm 0,70$	B	$133,7 \pm 9,0$
5,00	$4,0 \pm 2,0$	$4,74 \pm 0,56$	B	$138,4 \pm 6,4$

b. Eksperimen

Variasi Potensial Kerja (volt)	0,100 M EDTA			
	Berat Lapisan (mgr)	Butiran		Kekerasan (Hv)
		Ukuran (μm)	Kriteria	
2,50	$1,0 \pm 0,0$	$3,98 \pm 0,46$	A	$145,5 \pm 10,4$
3,00	$1,7 \pm 1,2$	$4,12 \pm 0,30$	B	$152,8 \pm 2,4$
4,00	$2,7 \pm 1,2$	$4,40 \pm 0,48$	B	$160,3 \pm 3,2$
5,00	$4,0 \pm 2,0$	$4,60 \pm 0,64$	B	$165,8 \pm 8,2$

Variasi Potensial Kerja (volt)	0,200 M EDTA			
	Berat Lapisan (mgr)	Butiran		Kekerasan (Hv)
		Ukuran (μm)	Kriteria	
2,50	$1,0 \pm 0,0$	$3,91 \pm 0,52$	A	$151,1 \pm 10,8$
3,00	$1,7 \pm 1,2$	$3,95 \pm 0,30$	A	$154,0 \pm 8,6$
4,00	$2,7 \pm 1,2$	$4,16 \pm 0,32$	B	$154,5 \pm 5,8$
5,00	$3,7 \pm 1,2$	$4,43 \pm 0,28$	B	$159,3 \pm 11,4$

B. Pembahasan

1. Hubungan Potensial Kerja terhadap Arus Listrik dalam Proses Elektroplating

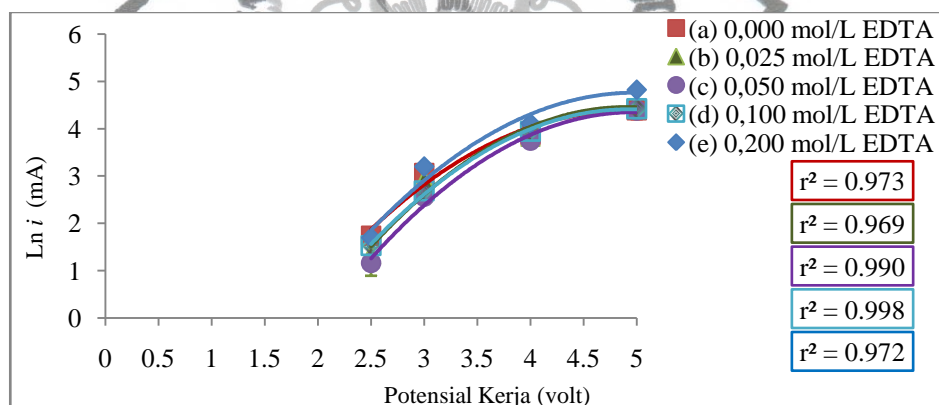
Sebelum membahas hubungan antara potensial kerja dengan berat maka perlu adanya pembahasan tentang hubungan antara potensial kerja dengan arus listrik, karena hubungan arus dan berat hasil elektrolisis sangat erat seperti yang terlihat pada persamaan 16. Elektrolisis dengan waktu yang sama (ditetapkan selama 10 menit) sedangkan e dan F merupakan konstanta tetap, maka berat endapan elektrolisis (W) hanya berbanding linier dengan arus yang mengalir. Hubungan antara potensial kerja dengan arus listrik pada proses elektroplating diberikan oleh persamaan Butler-Volmer sebagaimana telah disebutkan pada persamaan 7. Penelitian ini menggunakan potensial kerja yang positif maka arus yang mengalir berupa arus anoda dan dinyatakan pada persamaan 11a, sehingga $E - E_{\text{Nernst}}$ yang disebut *overpotential* dan berbanding eksponensial dengan arus listrik.

Overpotential adalah besaran yang menyatakan selisih antara potensial sel sebenarnya (E) dan potensial Nernst (E_{Nernst}). Suatu proses elektrolisis harus mampu mendorong potensial selnya. Proses elektrolisis dapat berjalan apabila disediakan *overpotential* dan potensial sel total yang diberikan pada sebuah sel elektrolisis sesuai dengan persamaan 24. Larutan yang digunakan dalam percobaan terlalu kompleks maka potensial sel total sendiri tidak dapat ditentukan begitu pula dengan *overpotential*nya belum diketahui. Penentuan proses plating dapat terjadi mulai pada potensial kerja sebesar 2,50 volt. Potensial tersebut diberikan lebih besar dari potensial sel secara teoritis menggunakan hukum Nernst yang ditunjukkan pada Lampiran 2 dan ternyata proses platingnya sudah terjadi.

Menurut hukum Ohm, $E = I.R_{\text{total}}$, potensial kerja sebanding dengan arus listrik yang mengalir. Pelapisan plating kali ini tidak mempermasalahkan nilai arus listrik tetapi *trend* (arahnya). Pada kenyataannya untuk menentukan *overpotential* dalam larutan yang kompleks sulit. Akan tetapi, ketika dicoba untuk melihat *trend* pengaruh potensial kerja dan *overpotential* pada Lampiran 8 terhadap data yang diperoleh tidak menunjukkan perbedaan. *Overpotential* dalam proses ini di perkirakan dengan potensial sel yang di manipulasi dengan harga

tertentu, $\eta = E_{\text{kerja}} - E_{\text{sel}}$. Penjelasan tersebut, menyatakan bahwa yang digunakan dalam penelitian ini adalah potensial sel kerjanya.

Penentuan hasil karakteristik lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe pada substrat Cu dilakukan dengan potensial kerja yang berbeda dan arusnya dicatat. Data hasil pengamatan proses berlangsungnya elektroplating ditunjukkan pada Lampiran 3. Berdasarkan data tersebut, dibuat hubungan grafik logaritma antara potensial kerja terhadap rapat arus dan dilakukan *fitting* dengan model linier, model eksponensial serta model kuadrat yang ditunjukkan pada Lampiran 9. Nilai koefisien determinasi (r^2) dari masing-masing *fitting* pada Lampiran 9 yang mendekati 1 (satu) adalah model kuadrat. Jadi kecenderungan kurvanya mengikuti *trend* kuadrat dengan persamaan $y = ax^2 + bx + c$, dimana x = potensial kerja dan untuk y = rapat arus listrik.



Gambar 13. Grafik Hubungan antara Potensial Kerja terhadap Arus Listrik

Lampiran 9 menunjukkan bahwa *fitting* linier dan eksponensial relatif memenuhi dengan nilai r^2 rata-rata lebih besar dari 0,700. Akan tetapi ditinjau dari nilai r^2 , linieritas yang paling besar ditunjukkan pada Gambar 13 adalah *fitting* kuadrat. Hal ini sesuai dengan logika bahwa hubungan antara potensial kerja terhadap arus listrik tidak mungkin linier terus-menerus, karena dalam larutan arus (i) mempunyai batas terhadap potensial kerja. Sama halnya untuk eksponensial, karena pada eksponensial untuk data yang diplotkan pada jarak yang kecil masih berupa garis lurus. Persamaan eksponensial pada Lampiran 9 menunjukkan nilai konstanta e berpangkat positif terhadap x , sehingga tidak mungkin terjadi. Bila potensial kerjanya terlalu besar, arus yang mengalir akan

menjadi tak terhingga ini tidak mungkin terjadi. Potensial kerja yang terlalu besar akan menyebabkan potensialnya sama dengan rapat arus pertukaran (i_0) maka yang paling sesuai adalah *trend* kuadratik. Konstanta a, b c, r^2 dan r dari masing-masing persamaan model *trend* kuadratik tersebut di atas ditunjukkan oleh Tabel 10.

Tabel 10. Konstanta a, b, c, r^2 dan r dari *Trendline* Hubungan Antara Variasi Potensial Kerja dengan Arus Listrik.

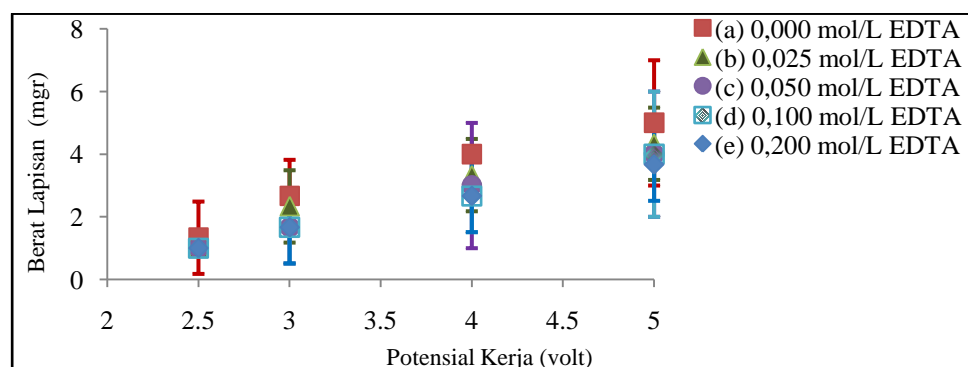
[EDTA] mol/L	Konstanta a	Konstanta b	Konstanta C	r^2 faktor	r factor
0,000	-0,452	4,384	-6,261	0,973	0,9864
0,025	-0,510	5,004	-7,809	0,969	0,9844
0,050	-0,505	5,027	-8,151	0,990	0,9949
0,100	-0,482	4,755	-7,308	0,998	0,9989
0,200	-0,471	4,702	-6,953	0,972	0,9859

Nilai faktor koreksi r pada Tabel 10 dari masing-masing variasi konsentrasi EDTA mendekati 1 (satu), menunjukkan pola *trend* kuadratik pada potensial kerja 2,50-5,00 volt. Semakin besar potensial kerja (2,50-5,00 volt), arus yang mengalir akan semakin besar. Substitusi dari persamaan 16 dan 11a menghasilkan hubungan antara potensial kerja dengan berat lapisan elektroplating berbanding kuadrat.

2. Pengaruh Variasi Potensial Kerja dan Konsentrasi *Ethylenediamine tetraacetic acid* (EDTA) terhadap Berat Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe

a. Pengaruh Variasi Potensial Kerja

Grafik hubungan berat lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe terhadap potensial kerja pada berbagai variasi konsentrasi EDTA ditunjukkan pada Gambar 14.

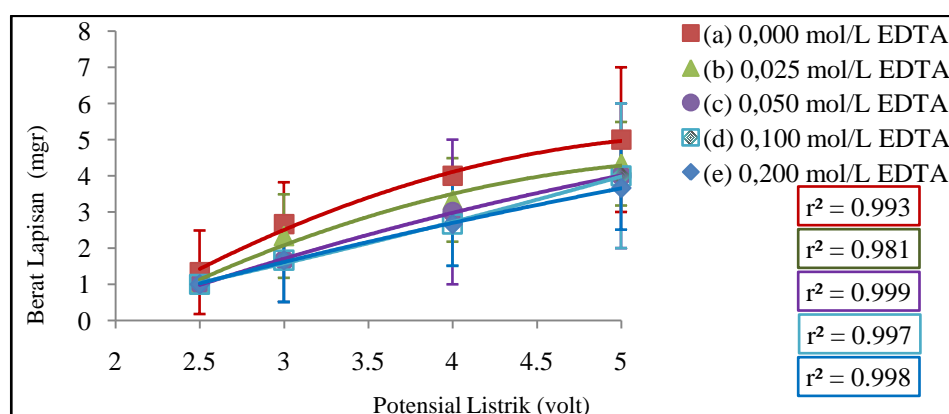


Gambar 14. Grafik Hubungan Potensial Kerja pada berbagai Variasi Konsentrasi EDTA terhadap Berat Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe

Gambar 14 menunjukkan bahwa semakin besar potensial kerja (2,50-5,00 volt) akan mengakibatkan lapisan campuran Zn-Ni-Fe yang terdeposisi semakin berat. Hal ini disebabkan karena semakin besar potensial kerja maka transfer dan pergerakan ion-ion dalam larutan semakin cepat seiring dengan besarnya potensial kerja. Besarnya transfer dan pergerakan ion-ion menyebabkan proses reduksi Zn, Ni dan Fe menjadi besar dan cepat sehingga lapisan plating banyak yang terdeposisi pada substrat Cu.

Berdasarkan hukum Faraday, jumlah logam yang terdekomposisi selama proses elektrolisis sebanding dengan kuat arus yang mengalir pada waktu pelapisan. Menurut persamaan Butler-Volmer besarnya hubungan antara potensial kerja dengan arus listrik adalah eksponensial. Hal ini menunjukkan bahwa secara teori hubungan antara berat lapisan tipis dengan besarnya potensial kerja deposisi adalah tidak linier. Hipotesis satu menyatakan bahwa pengaruh potensial kerja terhadap karakteristik berat total lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe pada substrat Cu dapat dibuat *fitting* optimum dengan model *trend* kuadratik.

Gambar 14 dilakukan *fitting* dengan model linier, model eksponensial dan model kuadrat yang ditunjukkan pada Lampiran 10. Nilai koefisien determinasi (r^2) dari masing-masing *fitting* pada Lampiran 10 yang mendekati 1 (satu) adalah model kuadrat. Jadi kecenderungan kurvanya sesuai dengan hipotesis yaitu mengikuti *trend* kuadratik dengan persamaan $y = ax^2 + bx + c$, dimana x = potensial kerja dan untuk y = berat lapisan Zn, Ni dan Fe.



Gambar 15. *Trendline* Hubungan Potensial Kerja pada berbagai Variasi Konsentrasi EDTA terhadap Berat Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe

Lampiran 10 menunjukkan bahwa *fitting* linier dan eksponensial relatif memenuhi dengan nilai r^2 rata-rata lebih besar dari 0,800. Akan tetapi ditinjau dari nilai r^2 , linieritas yang paling besar ditunjukkan pada Gambar 15 adalah *fitting* kuadrat. Hal ini sesuai dengan logika bahwa hubungan antara potensial kerja terhadap berat lapisan plating tidak mungkin linier terus-menerus karena pasti suatu saat akan mencapai titik optimumnya. Sama halnya untuk eksponensial, karena pada eksponensial untuk data yang diplotkan pada jarak yang kecil masih berupa garis lurus. Persamaan eksponensial pada Lampiran 10 menunjukkan nilai konstanta e berpangkat positif terhadap x , sehingga tidak mungkin terjadi. Bila potensial kerjanya terlalu besar maka berat yang dihasilkan akan menjadi tak terhingga ini tidak mungkin terjadi. Potensial yang besar tidak selalu membuat berat lapisan menjadi besar, lama-kelamaan suatu saat akan rontok sehingga mencapai titik optimum. Hal ini menyatakan bahwa yang paling sesuai dari hasil *fitting* tersebut adalah *trend* kuadrat. Konstanta a , b , c , r^2 dan r dari masing-masing persamaan model *trend* kuadrat di atas ditunjukkan oleh Tabel 11.

Tabel 11. Konstanta a , b , c , r^2 dan r dari *Trendline* Hubungan Antara Potensial Kerja pada berbagai Variasi Konsentrasi EDTA dengan Berat Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe

[EDTA] mol/L	Konstanta a	Konstanta b	Konstanta c	r² faktor	r faktor
0,000	-0,373	4,220	-6,795	0,993	0,9965
0,025	-0,318	3,646	-5,993	0,981	0,9905
0,050	-0,118	2,103	-3,534	0,999	0,9995
0,100	0,055	0,759	-1,197	0,997	0,9985
0,200	-0,063	1,529	-2,398	0,998	0,9990

Nilai faktor koreksi r pada Tabel 10 mendekati 1 (satu), menunjukkan pola *trend* kuadrat pada potensial kerja 2,50-5,00 volt. Berdasarkan teori, untuk menentukan titik optimum yang diyakini sebagai solusi dalam penentuan penaksir model kuadrat akan digunakan operasi turunan pertama dan kedua. Parameter dari model non-linier tersebut apabila diturunkan terhadap parameter itu sendiri maka hasil turunannya masih mengandung parameter itu sendiri. Dari persamaan kuadrat, $y = ax^2 + bx + c$ digunakan operasi turunan pertama dan diperoleh nilai potensial kerja optimum dengan rumus;

$$\frac{dy}{dx} = 2ax_{\text{opt}} + b = 0$$

$$2ax_{\text{opt}} = -b$$

$$x_{\text{opt}} = \frac{-b}{2a}$$

x_{opt} sebagai V_w adalah potensial kerja optimum untuk berat lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe, konstanta b dan a sesuai pada Tabel 11.

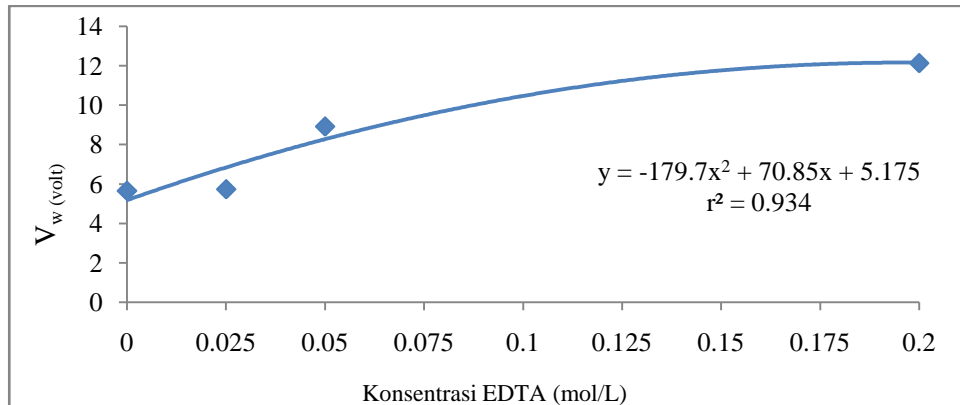
Fitting kuadrat dalam Tabel 11 khusus untuk konsentrasi EDTA 0,100 mol/L memberikan nilai konstanta a positif dan konstanta b juga positif. Hal ini tidak mungkin terjadi karena mempengaruhi nilai potensial kerja optimum menjadi negatif. Hasil itu terjadi hanya dalam satu data dari lima percobaan sedangkan sebagian besar empat dari lima percobaan memberikan konsistensi *fitting* kuadrat. Permasalahan ini dianggap suatu kasus yang diabaikan terhadap yang lebih umum. Data tersebut digunakan untuk menentukan pengaruh variasi konsentrasi EDTA. Pengaruhnya ditunjukkan dalam bentuk grafik hubungan antara potensial kerja optimum untuk berat lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe terhadap konsentrasi EDTA.

b. Pengaruh Variasi Konsentrasi EDTA

Hipotesis dua menyatakan bahwa pengaruh konsentrasi EDTA terhadap karakteristik berat total lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe pada substrat Cu dapat dibuat *fitting* optimum dengan model *trend* kuadrat. Pengaruh konsentrasi EDTA dianalisa secara tidak langsung yaitu dengan melalui grafik hubungan antara potensial kerja optimum untuk berat lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe terhadap konsentrasi EDTA yang merujuk pada Tabel 11. Perhitungan nilai potensial kerja optimum untuk berat lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe disajikan pada Tabel Lampiran 14.

Hasil *fitting* pada Lampiran 11 memperlihatkan bahwa hubungan antara konsentrasi EDTA dengan potensial kerja optimum untuk berat lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe sesuai dengan hipotesis kedua. Hal ini dilihat dari nilai koefisien determinasi (r^2) dari masing-masing *fitting* pada Lampiran 11 yang mendekati 1 (satu) adalah model *trend* kuadrat. Jadi kecenderungan kurvanya mengikuti *trend* kuadrat dengan persamaan $y = ax^2 + bx + c$, dimana $x =$

konsentrasi EDTA dan untuk $y = V_w$ = potensial kerja optimum untuk berat lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe (volt).



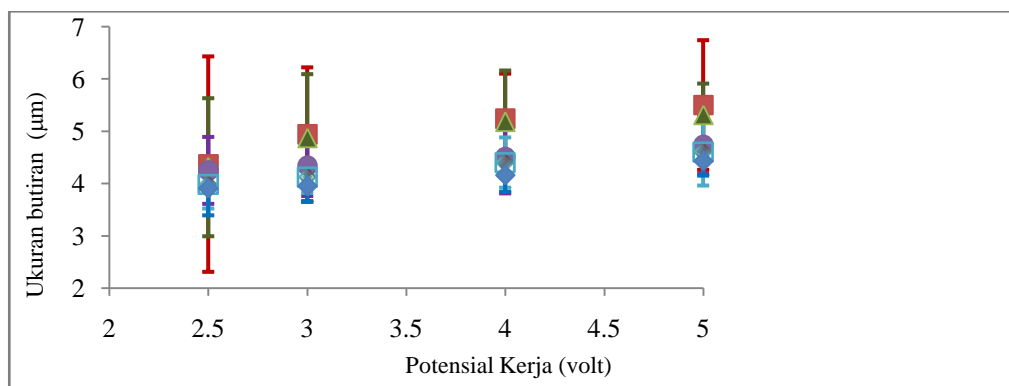
Gambar 16. *Trendline* Hubungan Konsentrasi EDTA terhadap V_w pada berbagai Variasi Potensial Kerja

Gambar 16 menunjukkan bahwa konsentrasi EDTA mempengaruhi potensial kerja optimum untuk berat lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe. Hal tersebut mengindikasikan bahwa penggunaan konsentrasi EDTA dapat menghambat laju deposisi ion Zn^{2+} , Ni^{2+} dan Fe^{2+} . Efektivitas penghambatan laju deposisi pada tiap-tiap penambahan konsentrasi EDTA berbeda. Penentuan nilai konsentrasi EDTA optimum untuk berat lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe dilakukan dengan menggunakan rumus titik optimum seperti di atas.

Berdasarkan persamaan pada Gambar 16 diperoleh nilai konsentrasi EDTA optimum sebesar 0,200 mol/L dan potensial kerja optimum sebesar 12,157 volt. Jadi untuk memperoleh berat total yang paling baik dengan konsentrasi larutan yang sama dalam penelitian ini, dilakukan dengan menggunakan konsentrasi EDTA sebesar 0,200 mol/L dan pada potensial kerja 12,157 volt.

3. Pengaruh Variasi Potensial Kerja dan Konsentrasi *Ethylenediamine tetra acetic acid* (EDTA) terhadap Ukuran Butiran Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe

a. Pengaruh Variasi Potensial Kerja



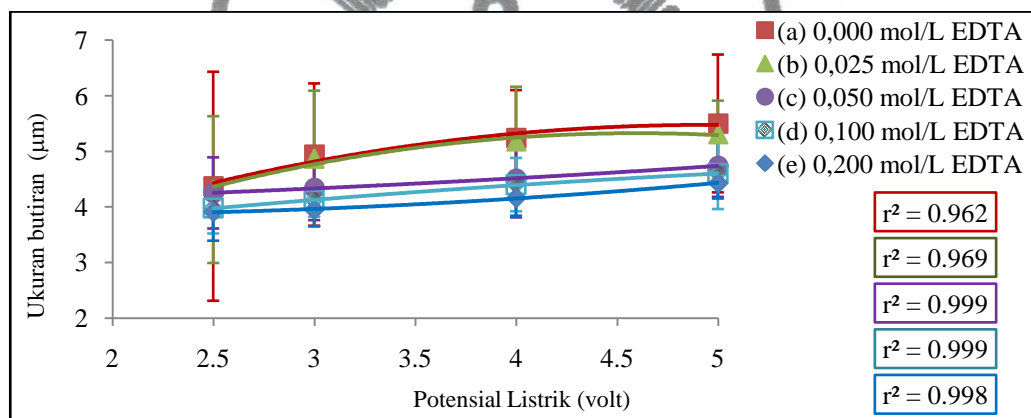
Gambar 17. Grafik Hubungan Potensial Kerja pada berbagai Variasi Konsentrasi EDTA terhadap Ukuran Butiran dari Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe

Gambar 17 menunjukkan bahwa semakin besar potensial kerja yang diberikan, semakin besar pula ukuran butiran lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe. Potensial kerja yang terlalu besar menyebabkan laju deposisi ion Zn, Ni dan Fe menjadi lebih cepat. Bertambah cepatnya laju deposisi membuat proses penataan ion Zn, Ni dan Fe menjadi tidak beraturan sehingga terbentuk butiran-butiran kristal yang besar. Gas H_2 yang ditimbulkan akan membesar sejalan dengan bertambahnya potensial kerja dan kemungkinan terdeposisi makin besar ke katoda. Adanya gas H_2 yang terdeposisi ke katoda menyebabkan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe menjadi kasar dan berlubang relatif besar maka akan membentuk lapisan makin rapuh. Ukuran butiran berhubungan dengan tekstur permukaan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe. Ukuran butiran semakin membesar menunjukkan tekstur permukaan yang kasar.

Potensial kerja mempengaruhi warna lapisan yang terbentuk, bila potensialnya terlalu besar maka warna lapisan menjadi kusam dan terbakar (hitam). Hal ini disebabkan karena pada potensial kerja yang besar menyebabkan panas (meningkatkan suhu larutan) sehingga lapisan menjadi kusam. Potensial kerja yang menghasilkan tekstur yang baik adalah pada potensial kerja 2,50 volt

dengan rata-rata kriteria kelas tekstur halus (B) akan tetapi secara kasat mata lapisannya tidak rata. Hipotesis satu menyatakan bahwa pengaruh potensial kerja terhadap karakteristik tekstur lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe pada substrat Cu dapat dibuat *fitting* optimum dengan model *trend* kuadrat.

Gambar 17 dilakukan *fitting* dengan model linier, model eksponensial dan model kuadrat yang ditunjukkan pada Lampiran 12. Nilai koefisien determinasi (r^2) dari masing-masing *fitting* pada Lampiran 12 yang mendekati 1 (satu) adalah model kuadrat. Jadi kecenderungan kurvanya sesuai dengan hipotesis satu yaitu mengikuti *trend* kuadrat dengan persamaan $y = ax^2 + bx + c$, dimana x = potensial kerja dan untuk y = ukuran butiran lapisan Zn, Ni dan Fe.



Gambar 18. *Trendline* Hubungan Potensial Kerja pada berbagai Variasi Konsentrasi EDTA terhadap Ukuran Butiran dari Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe

Lampiran 12 menunjukkan bahwa *fitting* linier dan eksponensial relatif memenuhi dengan nilai r^2 lebih besar dari 0,800. Akan tetapi ditinjau dari nilai r^2 , linieritas yang paling besar ditunjukkan pada Gambar 18 adalah *fitting* kuadrat. Hal ini sesuai dengan logika bahwa hubungan antara potensial kerja terhadap ukuran butiran lapisan plating tidak mungkin linier terus-menerus karena pasti suatu saat akan mencapai titik optimumnya. Sama halnya untuk eksponensial, karena pada eksponensial untuk data yang diplotkan pada jarak yang kecil masih berupa garis lurus. Persamaan eksponensial pada Lampiran 12 diperoleh nilai konstanta e berpangkat positif terhadap x , sehingga tidak mungkin terjadi. Bila potensial kerjanya terlalu besar maka ukuran butiran yang dihasilkan akan

menjadi tak terhingga ini tidak mungkin terjadi. Potensial yang besar tidak selalu membuat ukuran butiran lapisan menjadi besar, lama-kelamaan suatu saat akan rapuh sehingga mencapai optimum. Hal ini menyatakan bahwa yang paling sesuai dari hasil *fitting* tersebut adalah *trend* kuadratik. Konstanta a , b , c , r^2 dan r dari masing-masing persamaan model *trend* kuadratik di atas ditunjukkan oleh Tabel 12.

Tabel 12. Konstanta a , b , c , r^2 dan r dari *Trendline* Hubungan Antara Potensial Kerja pada berbagai Variasi Konsentrasi EDTA dengan Ukuran Butiran Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe

[EDTA] mol/L	Konstanta a	Konstanta b	Konstanta c	r² faktor	r faktor
0,000	-0,174	1,726	1,211	0,962	0,9808
0,025	-0,218	2,011	0,702	0,969	0,9843
0,050	0,019	0,047	4,014	0,999	0,9995
0,100	-0,028	0,464	2,991	0,999	0,9995
0,200	0,0046	-0,135	3,951	0,998	0,9990

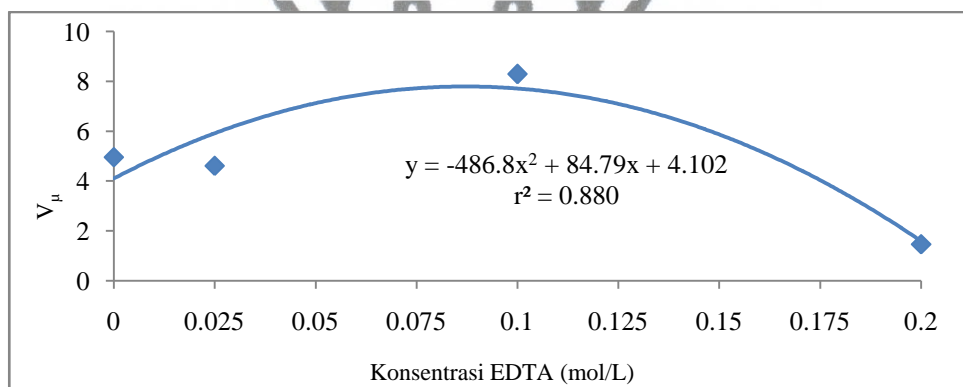
Nilai faktor koreksi r pada Tabel 12 mendekati 1 (satu), menunjukkan pola *trend* kuadratik pada potensial kerja 2,50-5,00 volt. Hasil persamaan kuadrat dari Tabel 12 digunakan untuk mencari potensial kerja optimum dengan menggunakan rumus titik optimum yang sudah dijabarkan pada pengaruh potensial kerja untuk berat lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe. Dimana x_{opt} sebagai V_{μ} adalah potensial kerja optimum untuk ukuran butiran lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe, konstanta b dan a sesuai pada Tabel 12.

Fitting kuadratik dalam Tabel 12 khusus untuk konsentrasi EDTA 0,050 mol/L memberikan nilai konstanta a positif dan konstanta b juga positif. Hal ini tidak mungkin terjadi karena mempengaruhi nilai potensial kerja optimum menjadi negatif. Hasil itu terjadi hanya dalam satu data dari lima percobaan sedangkan sebagian besar empat dari lima percobaan memberikan konsistensi *fitting* kuadrat. Permasalahan ini dianggap suatu kasus yang diabaikan terhadap yang lebih umum. Data tersebut digunakan untuk menentukan pengaruh variasi konsentrasi EDTA. Pengaruhnya ditunjukkan dalam bentuk grafik hubungan antara potensial kerja optimum untuk ukuran butiran lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe terhadap konsentrasi EDTA.

b. Pengaruh Variasi Konsentrasi EDTA

Hipotesis dua menyatakan bahwa pengaruh konsentrasi EDTA terhadap karakteristik tekstur lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe pada substrat Cu dapat dibuat *fitting* optimum dengan model *trend* kuadratik. Pengaruh konsentrasi EDTA dianalisa secara tidak langsung yaitu dengan melalui grafik hubungan antara potensial kerja optimum untuk ukuran butiran lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe terhadap konsentrasi EDTA yang merujuk pada Tabel 12. Perhitungan nilai potensial kerja optimum untuk ukuran butiran lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe disajikan pada Tabel Lampiran 15.

Hasil *fitting* pada Lampiran 13 memperlihatkan bahwa hubungan antara konsentrasi EDTA dengan potensial kerja optimum untuk ukuran butiran lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe sesuai dengan hipotesis kedua. Hal ini dilihat dari nilai koefisien determinasi (r^2) dari masing-masing *fitting* pada Lampiran 13 yang mendekati 1 (satu) adalah model *trend* kuadrat. Jadi kecenderungan kurvanya mengikuti *trend* kuadratik dengan persamaan $y = ax^2 + bx + c$, dimana x = konsentrasi EDTA dan untuk $y = V_{\mu}$ = potensial kerja optimum untuk ukuran butiran lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe (volt).



Gambar 19. *Trendline* Hubungan Konsentrasi EDTA terhadap V_{μ} pada berbagai Variasi Potensial Kerja

Gambar 19 menunjukkan bahwa konsentrasi EDTA mempengaruhi potensial kerja optimum untuk ukuran butiran lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe. Hal tersebut mengindikasikan bahwa penggunaan konsentrasi EDTA dapat menghambat laju deposisi ion Zn^{2+} , Ni^{2+} dan Fe^{2+} . Efektivitas penghambatan laju deposisi pada tiap-tiap penambahan konsentrasi EDTA berbeda. Semakin banyak

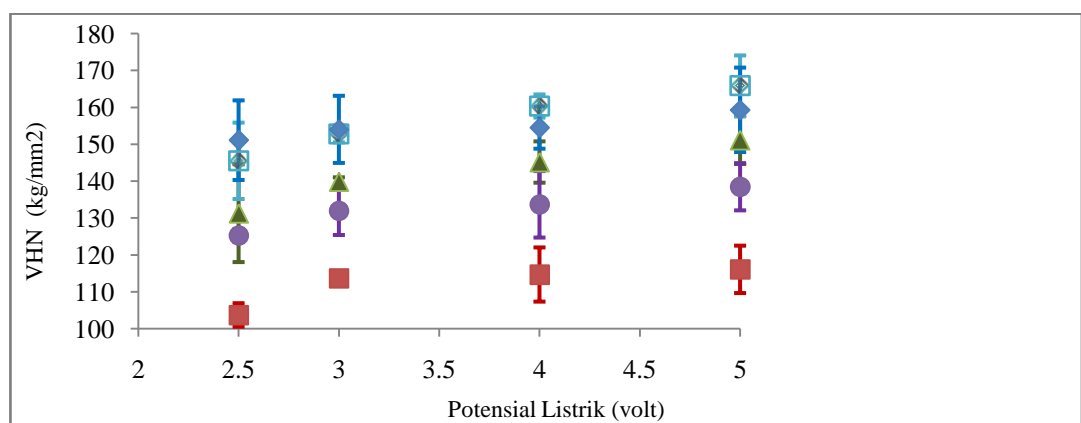
EDTA yang ditambahkan, semakin menghambat laju deposisi. Berkurangnya laju deposisi ion Zn, Ni dan Fe mengakibatkan penataan deposit menjadi lebih teratur sehingga dihasilkan ukuran butiran yang lebih kecil. Kriteria kelas tingkat tekstur menghasilkan kualitas yang baik pada penggunaan konsentrasi EDTA 0,200 mol/L dengan kriteria kelas tekstur sangat halus (A) akan tetapi secara kasat mata lapisan yang terbentuk kusam dan tidak rata.

Penentuan nilai konsentrasi EDTA optimum untuk ukuran butiran lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe dilakukan dengan menggunakan rumus titik optimum seperti pada pengaruh terhadap berat lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe. Nilai koefisien determinasi yang diperoleh kurang sesuai. Hal ini dikarenakan peneliti kesulitan untuk mengambil gambar secara mikroskopik dan menghitung menggunakan photoshop.

Berdasarkan persamaan pada Gambar 19 diperoleh nilai konsentrasi EDTA optimum sebesar 0,087 mol/L dan potensial kerja optimum sebesar 7,787 volt. Jadi untuk memperoleh ukuran butiran yang paling baik dengan konsentrasi larutan yang sama dalam penelitian ini, dilakukan dengan menggunakan konsentrasi EDTA sebesar 0,087 mol/L dan pada potensial kerja 7,787 volt.

4. Pengaruh Variasi Potensial Kerja dan Konsentrasi Ethylenediamine tetra acetic acid (EDTA) terhadap Kekerasan Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe

a. Pengaruh Variasi Potensial Kerja

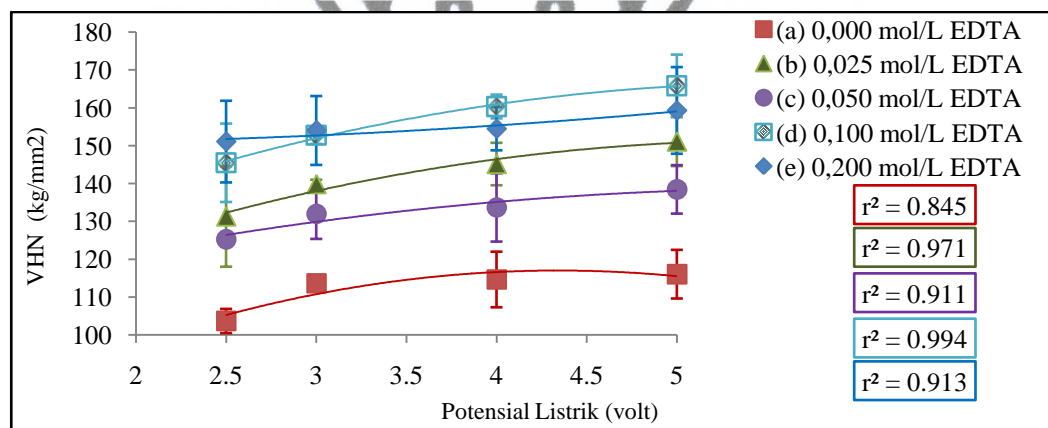


Gambar 20. Grafik Hubungan Potensial Kerja pada berbagai Variasi Konsentrasi EDTA terhadap Angka Kekerasan dari Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe

commit to user

Gambar 20 menunjukkan semakin besar potensial listrik mengakibatkan kekerasan lapisan tipis campuran Zn-Ni-Fe semakin meningkat untuk semua variasi konsentrasi agen pengompleks EDTA. Bertambahnya potensial listrik menyebabkan proses pengendapan ion-ion elektrolit ke dalam permukaan katoda menjadi cepat. Hal ini berpengaruh terhadap gaya adhesi lapisan, dimana semakin besar potensial listrik maka kekuatan tumbukan semakin besar, sehingga gaya adhesi juga semakin kuat. Adanya tumbukan dan gaya adhesi (tarik-menarik) yang kuat akan meningkatkan kekerasannya. Hipotesis satu menyatakan bahwa pengaruh potensial kerja terhadap karakteristik nilai kekerasan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe pada substrat Cu dapat dibuat *fitting* optimum dengan model *trend* kuadratik.

Gambar 20 dilakukan *fitting* dengan model linier, model eksponensial dan model kuadrat yang ditunjukkan pada Lampiran 14. Nilai koefisien determinasi (r^2) dari masing-masing *fitting* pada Lampiran 14 yang mendekati 1 (satu) adalah model kuadrat. Jadi kecenderungan kurvanya sesuai hipotesis yaitu mengikuti *trend* kuadratik dengan persamaan $y = ax^2 + bx + c$, dimana x = potensial kerja dan untuk y = kekerasan lapisan Zn, Ni dan Fe.



Gambar 21. *Trendline* Hubungan Potensial Kerja pada berbagai Variasi Konsentrasi EDTA terhadap Angka Kekerasan dari Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe

Lampiran 14 menunjukkan bahwa *fitting* linier dan eksponensial relatif memenuhi dengan nilai r^2 rata-rata lebih besar dari 0,600. Akan tetapi ditinjau dari nilai r^2 , linieritas yang paling besar ditunjukkan pada Gambar 21 adalah *fitting*

kuadrat. Hal ini sesuai dengan logika bahwa hubungan antara potensial kerja terhadap nilai kekerasan lapisan plating tidak mungkin linier terus-menerus karena pasti suatu saat akan mencapai titik optimumnya. Sama halnya untuk eksponensial, karena eksponensial sendiri untuk data yang diplotkan pada jarak yang kecil masih berupa garis lurus. Persamaan eksponensial pada Lampiran 14 diperoleh nilai konstanta e berpangkat positif terhadap x , sehingga tidak mungkin terjadi. Bila potensial kerjanya terlalu besar maka nilai kekerasan yang dihasilkan akan menjadi tak terhingga ini tidak mungkin terjadi. Potensial yang besar tidak selalu membuat kekerasan lapisan menjadi keras, lama-kelamaan suatu saat akan lunak sehingga mencapai titik optimum. Hal ini menyatakan bahwa yang paling sesuai dari hasil *fitting* tersebut adalah *trend* kuadratik. Konstanta a , b , c , r^2 dan r dari masing-masing persamaan model *trend* kuadratik di atas ditunjukkan oleh Tabel 13.

Tabel 13. Konstanta a , b , c , r^2 dan r dari *Trendline* Hubungan Antara Potensial Listrik pada berbagai Variasi Konsentrasi EDTA dengan Kekerasan Lapisan Campuran Zn-Ni-Fe

[EDTA] mol/L	Konstanta a	Konstanta b	Konstanta c	r² faktor	r faktor
0,000	-3,465	30,090	51,63	0,845	0,9192
0,025	-2,033	22,620	88,39	0,971	0,9854
0,050	-1,152	13,300	100,30	0,911	0,9544
0,100	-2,080	23,500	100,10	0,994	0,9970
0,200	0,526	-1,041	151,00	0,913	0,9555

Nilai faktor koreksi r pada Tabel 13 mendekati 1 (satu), menunjukkan pola *trend* kuadratik pada potensial kerja 2,50-5,00 volt. Hasil persamaan kuadrat dari Tabel 13 digunakan untuk mencari potensial kerja optimum dengan menggunakan rumus titik optimum yang sudah dijabarkan pada pengaruh potensial kerja untuk berat lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe. Dimana x_{opt} sebagai V_{HV} adalah potensial kerja optimum untuk kekerasan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe, konstanta b dan a sesuai pada Tabel 13.

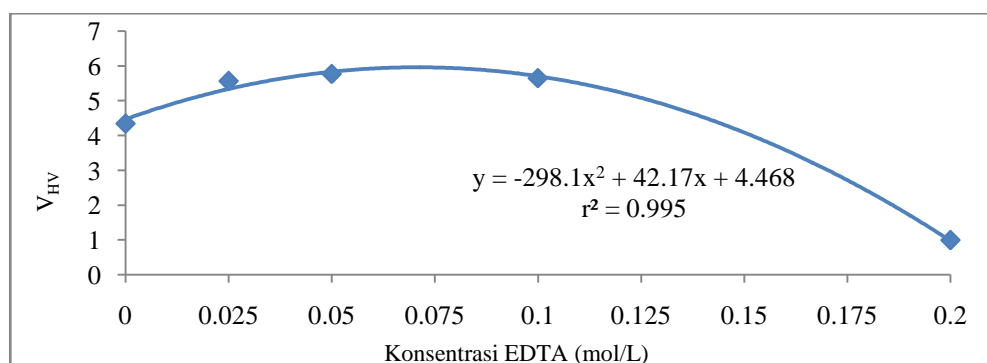
Fitting kuadratik dalam Tabel 13 khusus untuk konsentrasi EDTA 0,200 mol/L memberikan nilai konstanta b negatif. Hal ini tidak mungkin terjadi karena mempengaruhi nilai potensial kerja optimum menjadi tak terhingga. Akan tetapi,

bila diteruskan kemungkinan bisa positif dan ini hanya terjadi dalam satu data dari lima percobaan sedangkan sebagian besar empat dari lima percobaan memberikan konsistensi *fitting* kuadrat. Data tersebut digunakan untuk menentukan pengaruh variasi konsentrasi EDTA yang ditunjukkan pada grafik hubungan antara potensial kerja optimum untuk kekerasan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe terhadap konsentrasi EDTA.

b. Pengaruh Variasi Konsentrasi EDTA

Hipotesis dua menyatakan bahwa pengaruh konsentrasi EDTA terhadap karakteristik kekerasan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe pada substrat Cu dapat dibuat *fitting* optimum dengan model *trend* kuadrat. Pengaruh konsentrasi EDTA dianalisa secara tidak langsung yaitu dengan melalui grafik hubungan antara potensial kerja optimum untuk kekerasan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe terhadap konsentrasi EDTA yang merujuk pada Tabel 13. Perhitungan nilai potensial kerja optimum untuk kekerasan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe disajikan pada Tabel Lampiran 16.

Hasil *fitting* pada Lampiran 15 memperlihatkan bahwa hubungan antara konsentrasi EDTA dengan potensial kerja optimum untuk kekerasan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe sesuai dengan hipotesis kedua. Hal ini dilihat dari nilai koefisien determinasi (r^2) dari masing-masing *fitting* pada Lampiran 15 yang mendekati 1 (satu) adalah model *trend* kuadrat. Jadi kecenderungan kurvanya mengikuti *trend* kuadrat dengan persamaan $y = ax^2 + bx + c$, dimana x = konsentrasi EDTA dan untuk $y = V_{HV}$ = potensial kerja optimum untuk kekerasan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe (volt).



Gambar 22. *Trendline* Hubungan Konsentrasi EDTA terhadap V_{HV} pada berbagai Variasi Potensial Kerja

Berdasarkan Gambar 22 menunjukkan bahwa konsentrasi EDTA mempengaruhi potensial kerja optimum untuk kekerasan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe. Hal tersebut mengindikasikan bahwa penggunaan konsentrasi EDTA dapat menghambat laju deposisi ion Zn^{2+} , Ni^{2+} dan Fe^{2+} . Efektivitas penghambatan laju deposisi pada tiap-tiap penambahan konsentrasi EDTA berbeda. Penentuan nilai konsentrasi EDTA optimum untuk nilai kekerasan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe dilakukan dengan menggunakan rumus titik optimum seperti pada pengaruh terhadap berat lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe.

Berdasarkan persamaan pada Gambar 22 didapatkan nilai konsentrasi EDTA optimum sebesar 0,071 mol/L dan potensial kerja optimum sebesar 5,960 volt. Jadi untuk memperoleh kekerasan yang paling baik dengan konsentrasi larutan yang sama dalam penelitian ini, dilakukan dengan menggunakan konsentrasi EDTA sebesar 0,071 mol/L dan pada potensial kerja 5,960 volt.

Penggunaan EDTA pada lapisan elektroplating campuran Zn-Ni-Fe sangat tergantung pada pembentukan potensial kerja dan konsentrasi EDTA. Oleh karena itu, variasi yang dikategorikan baik sangat tergantung dari kebutuhan/keperluan plating itu. Dalam penelitian ini karakter berat total paling optimum terdapat pada konsentrasi EDTA sebesar 0,200 mol/L dan pada potensial kerja 12,157 volt. Sedangkan ukuran butiran paling optimum terdapat pada konsentrasi EDTA sebesar 0,087 mol/L dan pada potensial kerja 7,787 volt. Dan kekerasan paling optimum terdapat pada konsentrasi EDTA sebesar 0,071 mol/L dan pada potensial kerja 5,960 volt.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari data-data hasil penelitian penggunaan EDTA dalam lapisan elektroplating campuran Zn-Ni-Fe dapat ditarik kesimpulan terhadap hasil lapisan pada pengaruh potensial kerja dan konsentrasi EDTA sebagai berikut;

3. Pengaruh potensial kerja (V) terhadap karakter terukur (y_i) hasil lapisan plating Zn-Ni-Fe dengan adanya EDTA dapat dinyatakan dengan persamaan kuadrat: $y_i = aV^2 + bV + c$, harga a, b dan c merupakan konstanta yang nilainya tergantung pada konsentrasi EDTA.
4. Pengaruh konsentrasi EDTA (x) terhadap potensial kerja optimum (V_{opt}) juga dapat *difitting* dengan persamaan kuadrat. Nilai optimum kurva kuadrat merupakan nilai optimum serentak dari konsentrasi EDTA dan potensial kerja. Untuk masing-masing karakter terukur berat total, ukuran butiran dan kekerasan, nilai $[EDTA]_{opt}$ dan V_{opt} berturut-turut 0,200 mol/L dan 12,157 volt; 0,087 mol/L dan 7,787 volt; 0,071 mol/L dan 5,960 volt.

B. Saran

1. Penelitian pelapisan lebih lanjut, perlu dilakukan uji untuk titik-titik optimumnya yaitu optimum potensial kerja dan konsentrasi EDTA terhadap karakteristik berat total, ukuran butiran dan nilai kekerasan lapisan plating hasil perhitungan dari persamaan kuadrat seperti yang disimpulkan.
2. Optimasi yang paling besar diperoleh dari nilai kekerasannya dengan nilai koefisien determinasi (r^2) sebesar 0,995 sedangkan untuk ukuran butiran nilai koefisien determinasinya dibawah 0,900. Oleh karena itu perlu pengujian yang lebih teliti.

DAFTAR PUSTAKA

- Acmad, H., 1992, *Elektrokimia dan Kinetika Kimia*, Edisi pertama, P.T. Citra Aditya Bakti, Bandung, hal 46-103.
- Amer, S.I., 2004, *Simplified Removal of Chelated Metals*, Aquachem Inc. Metal Finishing **102** (4).
- Atkins, P.W., 1999, *Kimia Fisika*, Jilid 2, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.
- Dieter, G. E., 1987, *Metalurgi Mekanik*, Erlangga : Jakarta.
- Dogra, S. K., 1990, *Kimia Fisik dan Soal-Soal*, Penerbit Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Encarta Microsoft 2005, Hardening Testing Machine, <http://encarta.msn.Com/US>.
- Filman, B., 2005, *System studies of MCFC power plants*, Licentiate Thesis Stockholm, Sweden, 12-15.
- Haris, T.M., and Jennifer, L.W., 1999, *Electroplating Bath for Nickel-Iron Alloys and Method*, U.S. Patent 5,932,082.
- Hariyanti, 2007, *Electroplating of Cu-Sn Alloys and Compositionally Modulated Multilayers of Cu-Sn-Zn-Ni Alloys on Mild Steel Substrate*, Thesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science., 40.
- Hartomo, A.J, Kaneko, T., 1992, *Mengenal Pelapisan Logam (Elektroplating)*, Andi Offset, Yogyakarta, Hal.6-32.
- Hendrayana, T., 2009, Diakses 31 Oktober 2010, *Kompleksiometri*. <http://www.x3-prima.com/2009/09/lapo-ran-kompleksometri.html>.
- Glasstone, S., 1962, *An Introduction to Electrochemistry*, New York: D. Van Nostrand Company.
- Karahan, I.H., 2008, *Electrodeposition and Properties of ZnNiFe Alloys*, Chin. J. Phy., **46** (1) 105-112.

commit to user

- Kim, M.S., and Pohang-si., 2004, *Zn-Co-W Alloy Electroplated Steel Sheet With Excellent Corrosion Resistance and Weldability, and Electrolyte for Plating Same*, U.S. Patent 6,677,057 B2.
- Lee, J. D., 1994, *Consist Inorganic Chemistry*, 4th Edition, Chapman and Hall, London.
- Lestari, F.S., 2010 *Pengaruh Keasaman (pH), Waktu Terhadap Tebal Lapisan dan Kecerahan Permukaan pada Pelapisan Emas Terhadap Tembaga*, Jurusan Fisika Universitas Dumatara Utara, Medan, hal 8-9.
- Mallory, GO., and Juan B. Hadju., 1990, *Electroless Plating Fundamentals and Applications*. Reprint Edition. American Electroplaters and Surface Finishers Society, 58-61.
- Mc Graw-Hill, 1971, *Encyclopedia of Science and Technology four*, Dac-ens, New York.
- Mutholib, A., Arif, DG., Novi, DT., Subagyo, D., Wibowo, EC., dan Guntoro, H., 2006, *Elektroplating Dekoratif Protetktif dengan Kapasitas Larutan Elektrolit Nikel 20 L dan Khrom 10 L*, D III Teknik Mesin Universitas Diponegoro, Semarang, hal 30-31.
- Peters, RW., and Linda S., 1993, *Separation Of Heavy Metals : Removal From Industrial Wastewaters and Contaminated Soil*. Energy Systems Division Argonne National Laboratory 9700 South Cass Avenue Argonne, Illinois 60439, 16-27.
- Prentice, G., 1991, *Electrochemical Engineering Principles*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Purnawan, C., 2003, *Pengaruh Potensial dan Penambahan Surfaktan NaLS Terhadap Kualitas Lapisan Seng Hasil Elektroplating*, Jurusan Kimia Universitas Sebelas Maret, Surakarta, hal 1-20.
- Purwanto, dan Syamsul, H., 2005, *Teknologi Industri Elektroplating*, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang, hal 13-18.
- Ramachandran, V.S., and James, J.B., 2001, *Handbook of Analytical Techniques in Conrete Science and Technology Principles, Techniques, and Applications*, Institute for Research in Construction National Research Council Canada, New York, U.S.A., 446-452.

- Rieger, G. and Botton, J. R., 1995, *Photocatalytic Efficiency Variability in TiO₂ Articles*, Journal Physics Chemistry, **99**, 4215 – 4224.
- Rivai, H., 1995, *Asas Pemeriksaan Kimia*, Penerbit Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Shivakumara, S., Manohar, U., Arthoba, Y.N., and Venkatesha, T.V., 2007, *Influence of Additives on Electrodeposition of Bright Zn-Ni alloy on Mild Steel from Acid Sulphate Bath*, Bull. Mater. Sci, Indian Academy of Science., **30** (5), pp. 455-462.
- Soohoo, R.F., 1965, *Magnetic Thin Film*, Harper and Row Publishers, New York, 19-20.
- Suro, KN., 2010, *Analisa Pengujian Kekerasan Material Baja Karbon Rendah, Besi, Tembaga, Aluminium, serta Zn (seng) dengan Menggunakan Metode Uji Kekerasan Brinell*, S1 Teknik Mesin Universitas Pamulang, Tangerang Selatan, hal 15-17.
- Svehla, G., 1990, *Vogel: Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro Bagian I*, PT Kalman Media Pusaka, Jakarta.
- Taufik, T.A., 2009, Diakses 6 April 2011, *Cara Pelapisan Logam Secara Listrik (Elektroplating)*, http://www.chem-is-try.org/artikel_kimia/teknologi_tepat_guna/cara-pelapisan-logam-secara-listrik-elektroplating/.
- Thiagarajan, R., Anusuya, M., Mahaboob, M.V., 2009, *Mechanical Characterization of Spray Pyrolytic Cadmium Sulphide Thin Films by Indentation Technique*, J. Americ. Sci., **5** (6), pp. 51-56.
- Toifur, M., Wibowo, T., Wiryoadi dan Siswanto, B., 2002, *Pengaruh Suhu Substrat Pada Pertumbuhan Struktur Kristal dan Resistivitas Lapisan Tipis Ni₇₃Fe₂₇*, Jurnal Fisika Himpuan Fisika Indonesia., **A5** (0574).
- Vogel, 1982, *Textbook of Quantitative Inorganic Analysis*, Fourth Edition, Longman House, Burnt Mill, Harlow, England.
- Widiono, B., 2009, *Pengolahan Limbah Nikel dari Industri Electroplating dengan Elektrokoagulator*, POLITEK J. Technol. **8** (1) ISSN 1412-6427. Malang, 7-18.
- Winarno, F.G., 1982, *Kimia Pangan dan Gizi*, PT.Gramedia, Jakarta.

Wiryawan, A., Retnowati, R., dan Sabarudin A., 2008, *Kimia Analitik*.
Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta.

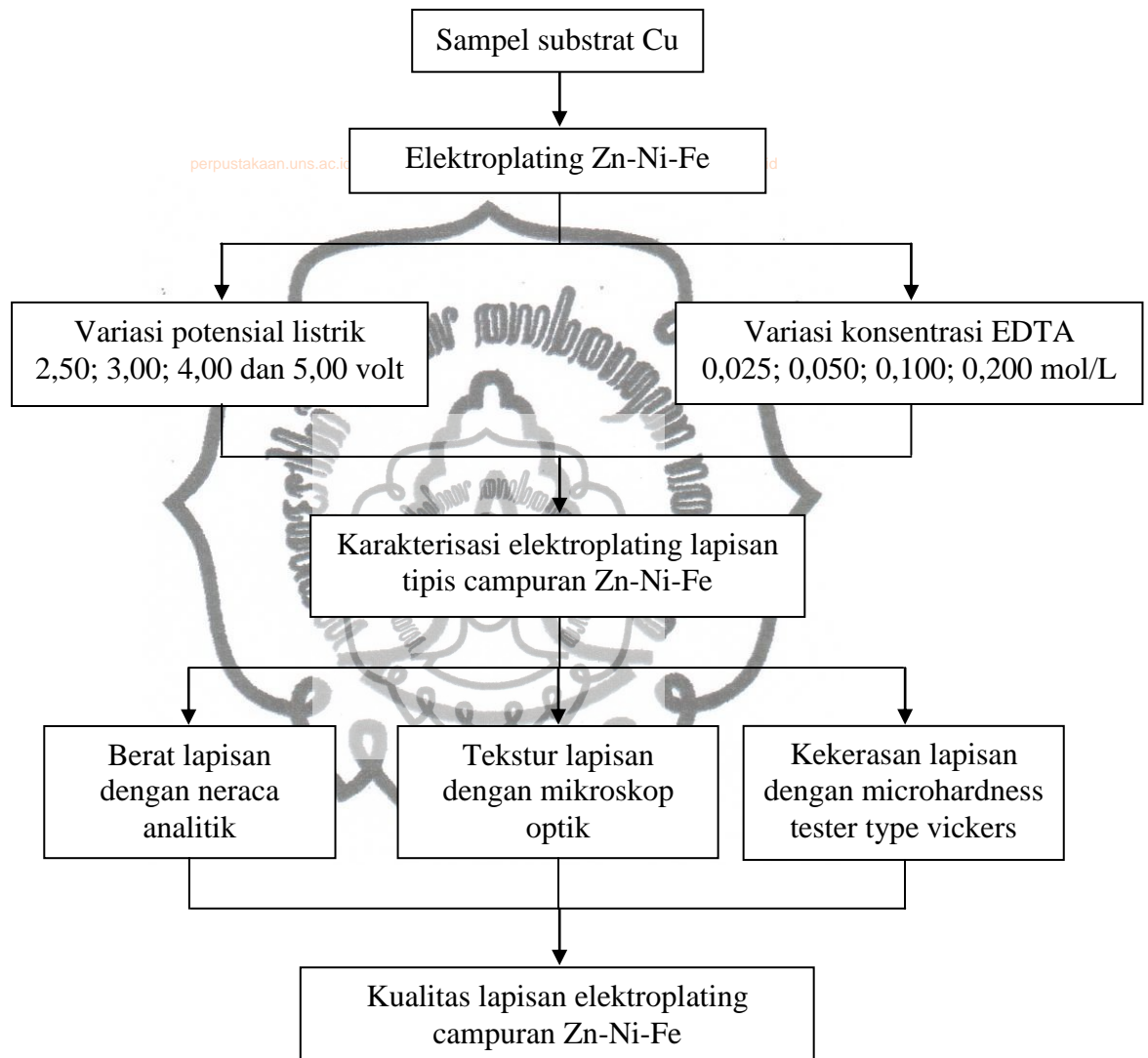
perpustakaan.uns.ac.id

digilib.uns.ac.id



commit to user

commit to user

LAMPIRAN 1**Desain Penelitian**

LAMPIRAN 2

Perhitungan kekuatan ion larutan (μ);Koefisien aktifitas ion dan aktifitas ion (Zn, Ni & Fe); Potensial sel (E_{sel})

➤ Tanpa penambahan EDTA

Tabel Lampiran 1. Molaritas Bahan-Bahan dalam Larutan Elektrolit tanpa Penambahan EDTA (0,000 M)

No.	Komposisi Bahan	Massa rumus	Konsentrasi (g L ⁻¹)	mol	Molar (M)
1	ZnCl ₂	136,28	40,000	0,294	0,294
2	NiCl ₂ .6H ₂ O	237,70	10,000	0,042	0,042
3	FeSO ₄ .7H ₂ O	278,02	10,000	0,036	0,036
4	H ₃ BO ₃	61,84	16,000	0,259	0,259
5	NH ₄ Cl	53,49	25,000	0,467	0,467

• Kekuatan ion larutan (μ)

$$\mu = \frac{1}{2} \left((M_{\text{Zn}^{2+}} \times Z_{\text{Zn}^{2+}}^2) + (2 M_{\text{Cl}^-} \times Z_{\text{Cl}^-}^2) + (M_{\text{Ni}^{2+}} \times Z_{\text{Ni}^{2+}}^2) + (2 M_{\text{Cl}^-} \times Z_{\text{Cl}^-}^2) + (M_{\text{Fe}^{2+}} \times Z_{\text{Fe}^{2+}}^2) + (M_{\text{SO}_4^{2-}} \times Z_{\text{SO}_4^{2-}}^2) + (3 M_{\text{H}^+} \times Z_{\text{H}^+}^2) + (M_{\text{BO}_3^{3-}} \times Z_{\text{BO}_3^{3-}}^2) + (M_{\text{NH}_4^+} \times Z_{\text{NH}_4^+}^2) + (M_{\text{Cl}^-} \times Z_{\text{Cl}^-}^2) \right)$$

$$\mu = \frac{1}{2} ((0,294 (2)^2) + (2 \times 0,294 (-1)^2) + (0,042 (2)^2) + (2 \times 0,042 (-1)^2) + (0,036 (2)^2) + (0,036 (-2)^2) + (3 \times 0,259 (1)^2) + (0,259 (-3)^2) + (0,467 (1)^2) + (0,467 (-1)^2))$$

$$\mu = \frac{1}{2} (1,176) + (0,588) + (0,168) + (0,084) + (0,144) + (0,144) + (0,777) + (2,331) + (0,467) + (0,467)$$

$$\mu = \frac{1}{2} (6,346) = 3,173$$

$$\text{Zn } \alpha_{\text{Zn}^{2+}} = 6$$

• Koefisien aktifitas ion Zn^{2+} , ($\gamma_{\text{Zn}^{2+}}$)

$$\text{Log } \gamma_{\text{Zn}^{2+}} = \frac{-0,509 \times (Z_{\text{Zn}^{2+}})^2 \times \sqrt{\mu}}{1 + 0,328 \alpha_{\text{Zn}^{2+}} \sqrt{\mu}} = \frac{-0,509 \times (2)^2 \times \sqrt{3,173}}{1 + 0,328 \times 6 \sqrt{3,173}} = \frac{-3,627}{4,506} = -0,805$$

$$\gamma_{\text{Zn}^{2+}} = 0,157$$

• Aktifitas ion $\text{Zn}^{2+} = a_{\text{Zn}^{2+}} = \gamma_{\text{Zn}^{2+}} [M_{\text{Zn}^{2+}}] = 0,157 \times 0,294 = 0,462 \times 10^{-1}$

$$\text{Ni } \alpha_{\text{Ni}^{2+}} = 6$$

• Koefisien aktifitas ion Ni^{2+} , ($\gamma_{\text{Ni}^{2+}}$)

$$\text{Log } \gamma_{\text{Ni}^{2+}} = \frac{-0,509 \times (Z_{\text{Ni}^{2+}})^2 \times \sqrt{\mu}}{1 + 0,328 \alpha_{\text{Ni}^{2+}} \sqrt{\mu}} = \frac{-0,509 \times (2)^2 \times \sqrt{3,173}}{1 + 0,328 \times 6 \sqrt{3,173}} = \frac{-3,627}{4,506} = -0,805$$

$$\gamma_{\text{Ni}^{2+}} = 0,157$$

- Aktivitas ion $\text{Ni}^{2+} = a_{\text{Ni}^{2+}} = \gamma_{\text{Ni}^{2+}} [M_{\text{Ni}^{2+}}] = 0,157 \times 0,042 = 6,594 \times 10^{-3}$

$$\text{Fe } \alpha_{\text{Fe}^{2+}} = 6$$

- Koefisien aktivitas ion Fe^{2+} , ($\gamma_{\text{Fe}^{2+}}$)

$$\text{Log } \gamma_{\text{Fe}^{2+}} = \frac{-0,509 \times (Z_{\text{Fe}^{2+}})^2 \times \sqrt{\mu}}{1 + 0,328 \alpha_{\text{Fe}^{2+}} \sqrt{\mu}} = \frac{-0,509 \times (2)^2 \times \sqrt{3,173}}{1 + 0,328 \times 6 \sqrt{3,173}} = \frac{-3,627}{4,506} = -0,805$$

$$\gamma_{\text{Fe}^{2+}} = 0,157$$

- Aktivitas ion $\text{Fe}^{2+} = a_{\text{Fe}^{2+}} = \gamma_{\text{Fe}^{2+}} [M_{\text{Fe}^{2+}}] = 0,157 \times 0,036 = 5,652 \times 10^{-3}$

$$\begin{aligned} E_{\text{sel}} &= E_{\text{sel}}^0 - \frac{2,303 RT}{n F} \log \frac{(a_{\text{Zn}})^2 (a_{\text{Ni}})^2 (a_{\text{Fe}})^2 (a_{\text{H}_2})^2 (a_{\text{O}_2})^3}{(a_{\text{Zn}^{2+}})^2 (a_{\text{Ni}^{2+}})^2 (a_{\text{Fe}^{2+}})^2 (a_{\text{H}_2\text{O}})^6} \\ E_{\text{sel}} &= E_{\text{sel}}^0 - \frac{2,303 RT}{n F} \log \frac{1}{(a_{\text{Zn}^{2+}})^2 (a_{\text{Ni}^{2+}})^2 (a_{\text{Fe}^{2+}})^2} \\ &= -1,713 - \frac{2,303 \times 8,314 \times 301,15}{6 \times 96487} \log \frac{1}{(0,462 \times 10^{-1})^2 (6,594 \times 10^{-3})^2 (5,652 \times 10^{-3})^2} \\ &= -1,713 - 0,996 \times 10^{-2} \log \frac{1}{0,296 \times 10^{-11}} \\ &= -1,713 - 0,996 \times 10^{-2} (11,529) = -1,713 - 0,1148 = -1,8278 \text{ volt} \end{aligned}$$

Sedangkan potensial lebih elektroda Pt terhadap gas Hidrogen dan Oksigen adalah 0,44 volt dan 0,03 volt (Purnawan, 2003), sehingga potensial yang harus diberikan :

$$E_{\text{sel}} = 1,8278 + 0,44 + 0,03 = \mathbf{2,2978 \text{ volt}}$$

commit to user

commit to user

- Dengan penambahan EDTA 0,025 M

Tabel Lampiran 2. Molaritas Bahan-Bahan dalam Larutan Elektrolit dengan Penambahan EDTA 0,025 M

No.	Komposisi Bahan	Massa rumus	Konsentrasi (g L ⁻¹)	mol	Molar (M)
1	ZnCl ₂	136,28	40,000	0,294	0,294
2	NiCl ₂ ·6H ₂ O	237,70	10,000	0,042	0,042
3	FeSO ₄ ·7H ₂ O	278,02	10,000	0,036	0,036
4	H ₃ BO ₃	61,84	16,000	0,259	0,259
5	NH ₄ Cl	53,49	25,000	0,467	0,467
6	EDTA	372,24	9,306	0,025	0,025

- Kekuatan ion larutan (μ)

$$\mu = \frac{1}{2} \left((M_{Zn^{2+}} \times Z_{Zn^{2+}}^2) + (2 M_{Cl^-} \times Z_{Cl^-}^2) + (M_{Ni^{2+}} \times Z_{Ni^{2+}}^2) + (2 M_{Cl^-} \times Z_{Cl^-}^2) + (M_{Fe^{2+}} \times Z_{Fe^{2+}}^2) + (M_{SO_4^{2-}} \times Z_{SO_4^{2-}}^2) + (3 M_{H^+} \times Z_{H^+}^2) + (M_{BO_3^{3-}} \times Z_{BO_3^{3-}}^2) + (M_{NH_4^+} \times Z_{NH_4^+}^2) + (M_{Cl^-} \times Z_{Cl^-}^2) + (4 M_{H^+} \times Z_{H^+}^2) + (M_{EDTA^{4-}} \times Z_{EDTA^{4-}}^2) \right)$$

$$\mu = \frac{1}{2} ((0,294 (2)^2) + (2 \times 0,294 (-1)^2) + (0,042 (2)^2) + (2 \times 0,042 (-1)^2) + (0,036 (2)^2) + (0,036 (-2)^2) + (3 \times 0,259 (1)^2) + (0,259 (-3)^2) + (0,467 (1)^2) + (0,467 (-1)^2) + (4 \times 0,025 (1)^2) + (0,025 (-4)^2))$$

$$\mu = \frac{1}{2} (1,176) + (0,588) + (0,168) + (0,084) + (0,144) + (0,144) + (0,777) + (2,331) + (0,467) + (0,467) + (0,100) + (0,400)$$

$$\mu = \frac{1}{2} (6,846) = 3,423$$

$$Zn \alpha_{Zn^{2+}} = 6$$

- Koefisien aktifitas ion Zn^{2+} , ($\gamma_{Zn^{2+}}$)

$$\text{Log } \gamma_{Zn^{2+}} = \frac{-0,509 \times (Z_{Zn^{2+}})^2 \times \sqrt{\mu}}{1 + 0,328 \alpha_{Zn^{2+}} \sqrt{\mu}} = \frac{-0,509 \times (2)^2 \times \sqrt{3,423}}{1 + 0,328 \times 6 \sqrt{3,423}} = \frac{-3,766}{4,641} = -0,811$$

$$\gamma_{Zn^{2+}} = 0,154$$

- Aktifitas ion $Zn^{2+} = a_{Zn^{2+}} = \gamma_{Zn^{2+}} [M_{Zn^{2+}}] = 0,154 \times 0,294 = 0,453 \times 10^{-1}$

$$Ni \alpha_{Ni^{2+}} = 6$$

- Koefisien aktifitas ion Ni^{2+} , ($\gamma_{Ni^{2+}}$)

$$\text{Log } \gamma_{\text{Ni}^{2+}} = \frac{-0,509 \times (Z_{\text{Ni}^{2+}})^2 \times \sqrt{\mu}}{1 + 0,328 \alpha_{\text{Ni}^{2+}} \sqrt{\mu}} = \frac{-0,509 \times (2)^2 \times \sqrt{3,423}}{1 + 0,328 \times 6 \sqrt{3,423}} = \frac{-3,766}{4,641} = -0,811$$

$$\gamma_{\text{Ni}^{2+}} = 0,154$$

- Aktivitas ion $\text{Ni}^{2+} = a_{\text{Ni}^{2+}} = \gamma_{\text{Ni}^{2+}} [M_{\text{Ni}^{2+}}] = 0,154 \times 0,042 = 6,468 \times 10^{-3}$

$$\text{Fe } \alpha_{\text{Fe}^{2+}} = 6$$

- Koefisien aktivitas ion Fe^{2+} , ($\gamma_{\text{Fe}^{2+}}$)

$$\text{Log } \gamma_{\text{Fe}^{2+}} = \frac{-0,509 \times (Z_{\text{Fe}^{2+}})^2 \times \sqrt{\mu}}{1 + 0,328 \alpha_{\text{Fe}^{2+}} \sqrt{\mu}} = \frac{-0,509 \times (2)^2 \times \sqrt{3,423}}{1 + 0,328 \times 6 \sqrt{3,423}} = \frac{-3,766}{4,641} = -0,811$$

$$\gamma_{\text{Fe}^{2+}} = 0,154$$

- Aktivitas ion $\text{Fe}^{2+} = a_{\text{Fe}^{2+}} = \gamma_{\text{Fe}^{2+}} [M_{\text{Fe}^{2+}}] = 0,154 \times 0,036 = 5,544 \times 10^{-3}$

$$\begin{aligned} E_{\text{sel}} &= E_{\text{sel}}^0 - \frac{2,303 RT}{n F} \log \frac{(a_{\text{Zn}})^2 (a_{\text{Ni}})^2 (a_{\text{Fe}})^2 (a_{\text{H}_2})^2 (a_{\text{O}_2})^3}{(a_{\text{Zn}^{2+}})^2 (a_{\text{Ni}^{2+}})^2 (a_{\text{Fe}^{2+}})^2 (a_{\text{H}_2\text{O}})^6} \\ E_{\text{sel}} &= E_{\text{sel}}^0 - \frac{2,303 RT}{n F} \log \frac{1}{(a_{\text{Zn}^{2+}})^2 (a_{\text{Ni}^{2+}})^2 (a_{\text{Fe}^{2+}})^2} \\ &= -1,713 - \frac{2,303 \times 8,314 \times 301,15}{6 \times 96487} \log \frac{1}{(0,453 \times 10^{-1})^2 (6,468 \times 10^{-3})^2 (5,544 \times 10^{-3})^2} \\ &= -1,713 - 0,996 \times 10^{-2} \log \frac{1}{0,263 \times 10^{-11}} \\ &= -1,713 - 0,996 \times 10^{-2} (11,578) = -1,713 - 0,1153 = -1,8283 \text{ volt} \end{aligned}$$

Sedangkan potensial lebih elektroda Pt terhadap gas Hidrogen dan Oksigen adalah 0,44 volt dan 0,03 volt (Purnawan, 2003), sehingga potensial yang harus diberikan :

$$E_{\text{sel}} = 1,8283 + 0,44 + 0,03 = \mathbf{2,2983 \text{ volt}}$$

commit to user

commit to user

- Dengan penambahan EDTA 0,050 M

Tabel Lampiran 3. Molaritas Bahan-Bahan dalam Larutan Elektrolit dengan Penambahan EDTA 0,050 M

No.	Komposisi Bahan	Massa rumus	Konsentrasi (g L ⁻¹)	mol	Molar (M)
1	ZnCl ₂	136,28	40,000	0,294	0,294
2	NiCl ₂ ·6H ₂ O	237,70	10,000	0,042	0,042
3	FeSO ₄ ·7H ₂ O	278,02	10,000	0,036	0,036
4	H ₃ BO ₃	61,84	16,000	0,259	0,259
5	NH ₄ Cl	53,49	25,000	0,467	0,467
6	EDTA	372,24	18,612	0,050	0,050

- Kekuatan ion larutan (μ)

$$\mu = \frac{1}{2} \left((M_{Zn^{2+}} \times Z_{Zn^{2+}}^2) + (2 M_{Cl^-} \times Z_{Cl^-}^2) + (M_{Ni^{2+}} \times Z_{Ni^{2+}}^2) + (2 M_{Cl^-} \times Z_{Cl^-}^2) + (M_{Fe^{2+}} \times Z_{Fe^{2+}}^2) + (M_{SO_4^{2-}} \times Z_{SO_4^{2-}}^2) + (3 M_{H^+} \times Z_{H^+}^2) + (M_{BO_3^{3-}} \times Z_{BO_3^{3-}}^2) + (M_{NH_4^+} \times Z_{NH_4^+}^2) + (M_{Cl^-} \times Z_{Cl^-}^2) + (4 M_{H^+} \times Z_{H^+}^2) + (M_{EDTA^{4-}} \times Z_{EDTA^{4-}}^2) \right)$$

$$\mu = \frac{1}{2} ((0,294 (2)^2) + (2 \times 0,294 (-1)^2) + (0,042 (2)^2) + (2 \times 0,042 (-1)^2) + (0,036 (2)^2) + (0,036 (-2)^2) + (3 \times 0,259 (1)^2) + (0,259 (-3)^2) + (0,467 (1)^2) + (0,467 (-1)^2) + (4 \times 0,050 (1)^2) + (0,050 (-4)^2))$$

$$\mu = \frac{1}{2} (1,176) + (0,588) + (0,168) + (0,084) + (0,144) + (0,144) + (0,777) + (2,331) + (0,467) + (0,467) + (0,200) + (0,800)$$

$$\mu = \frac{1}{2} (7,346) = 3,673$$

$$Zn \alpha_{Zn^{2+}} = 6$$

- Koefisien aktifitas ion Zn^{2+} , ($\gamma_{Zn^{2+}}$)

$$\text{Log } \gamma_{Zn^{2+}} = \frac{-0,509 \times (Z_{Zn^{2+}})^2 \times \sqrt{\mu}}{1 + 0,328 \alpha_{Zn^{2+}} \sqrt{\mu}} = \frac{-0,509 \times (2)^2 \times \sqrt{3,673}}{1 + 0,328 \times 6 \sqrt{3,673}} = \frac{-3,902}{4,771} = -0,818$$

$$\gamma_{Zn^{2+}} = 0,152$$

- Aktifitas ion $Zn^{2+} = a_{Zn^{2+}} = \gamma_{Zn^{2+}} [M_{Zn^{2+}}] = 0,152 \times 0,294 = 0,446 \times 10^{-1}$

$$Ni \alpha_{Ni^{2+}} = 6$$

- Koefisien aktifitas ion Ni^{2+} , ($\gamma_{Ni^{2+}}$)

$$\text{Log } \gamma_{\text{Ni}^{2+}} = \frac{-0,509 \times (Z_{\text{Ni}^{2+}})^2 \times \sqrt{\mu}}{1 + 0,328 \alpha_{\text{Ni}^{2+}} \sqrt{\mu}} = \frac{-0,509 \times (2)^2 \times \sqrt{3,673}}{1 + 0,328 \times 6 \sqrt{3,673}} = \frac{-3,902}{4,771} = -0,818$$

$$\gamma_{\text{Ni}^{2+}} = 0,152$$

- Aktivitas ion $\text{Ni}^{2+} = a_{\text{Ni}^{2+}} = \gamma_{\text{Ni}^{2+}} [M_{\text{Ni}^{2+}}] = 0,152 \times 0,042 = 6,384 \times 10^{-3}$

$$\text{Fe } \alpha_{\text{Fe}^{2+}} = 6$$

- Koefisien aktivitas ion Fe^{2+} , ($\gamma_{\text{Fe}^{2+}}$)

$$\text{Log } \gamma_{\text{Fe}^{2+}} = \frac{-0,509 \times (Z_{\text{Fe}^{2+}})^2 \times \sqrt{\mu}}{1 + 0,328 \alpha_{\text{Fe}^{2+}} \sqrt{\mu}} = \frac{-0,509 \times (2)^2 \times \sqrt{3,673}}{1 + 0,328 \times 6 \sqrt{3,673}} = \frac{-3,902}{4,771} = -0,818$$

$$\gamma_{\text{Fe}^{2+}} = 0,152$$

- Aktivitas ion $\text{Fe}^{2+} = a_{\text{Fe}^{2+}} = \gamma_{\text{Fe}^{2+}} [M_{\text{Fe}^{2+}}] = 0,152 \times 0,036 = 5,472 \times 10^{-3}$

$$\begin{aligned} E_{\text{sel}} &= E_{\text{sel}}^0 - \frac{2,303 RT}{n F} \log \frac{(a_{\text{Zn}})^2 (a_{\text{Ni}})^2 (a_{\text{Fe}})^2 (a_{\text{H}_2})^2 (a_{\text{O}_2})^3}{(a_{\text{Zn}^{2+}})^2 (a_{\text{Ni}^{2+}})^2 (a_{\text{Fe}^{2+}})^2 (a_{\text{H}_2\text{O}})^6} \\ E_{\text{sel}} &= E_{\text{sel}}^0 - \frac{2,303 RT}{n F} \log \frac{1}{(a_{\text{Zn}^{2+}})^2 (a_{\text{Ni}^{2+}})^2 (a_{\text{Fe}^{2+}})^2} \\ &= -1,713 - \frac{2,303 \times 8,314 \times 301,15}{6 \times 96487} \log \frac{1}{(0,446 \times 10^{-3})^2 (6,384 \times 10^{-3})^2 (5,472 \times 10^{-3})^2} \\ &= -1,713 - 0,996 \times 10^{-2} \log \frac{1}{0,243 \times 10^{-11}} \\ &= -1,713 - 0,996 \times 10^{-2} (11,615) = -1,713 - 0,1157 = -1,8287 \text{ volt} \end{aligned}$$

Sedangkan potensial lebih elektroda Pt terhadap gas Hidrogen dan Oksigen adalah 0,44 volt dan 0,03 volt (Purnawan, 2003), sehingga potensial yang harus diberikan :

$$E_{\text{sel}} = 1,8287 + 0,44 + 0,03 = \mathbf{2,2987 \text{ volt}}$$

commit to user

commit to user

- Dengan penambahan EDTA 0,100 M

Tabel Lampiran 4. Molaritas Bahan-Bahan dalam Larutan Elektrolit dengan Penambahan EDTA 0,100 M

No.	Komposisi Bahan	Massa rumus	Konsentrasi (g ^L ⁻¹)	mol	Molar (M)
1	ZnCl ₂	136,28	40,000	0,294	0,294
2	NiCl ₂ ·6H ₂ O	237,70	10,000	0,042	0,042
3	FeSO ₄ ·7H ₂ O	278,02	10,000	0,036	0,036
4	H ₃ BO ₃	61,84	16,000	0,259	0,259
5	NH ₄ Cl	53,49	25,000	0,467	0,467
6	EDTA	372,24	37,224	0,100	0,100

- Kekuatan ion larutan (μ)

$$\mu = \frac{1}{2} \left((M_{Zn^{2+}} \times Z_{Zn^{2+}}^2) + (2 M_{Cl^-} \times Z_{Cl^-}^2) + (M_{Ni^{2+}} \times Z_{Ni^{2+}}^2) + (2 M_{Cl^-} \times Z_{Cl^-}^2) + (M_{Fe^{2+}} \times Z_{Fe^{2+}}^2) + (M_{SO_4^{2-}} \times Z_{SO_4^{2-}}^2) + (3 M_{H^+} \times Z_{H^+}^2) + (M_{BO_3^{3-}} \times Z_{BO_3^{3-}}^2) + (M_{NH_4^+} \times Z_{NH_4^+}^2) + (M_{Cl^-} \times Z_{Cl^-}^2) + (4 M_{H^+} \times Z_{H^+}^2) + (M_{EDTA^{4-}} \times Z_{EDTA^{4-}}^2) \right)$$

$$\mu = \frac{1}{2} ((0,294 (2)^2) + (2 \times 0,294 (-1)^2) + (0,042 (2)^2) + (2 \times 0,042 (-1)^2) + (0,036 (2)^2) + (0,036 (-2)^2) + (3 \times 0,259 (1)^2) + (0,259 (-3)^2) + (0,467 (1)^2) + (0,467 (-1)^2) + (4 \times 0,100 (1)^2) + (0,100 (-4)^2))$$

$$\mu = \frac{1}{2} (1,176) + (0,588) + (0,168) + (0,084) + (0,144) + (0,144) + (0,777) + (2,331) + (0,467) + (0,467) + (0,400) + (1,600)$$

$$\mu = \frac{1}{2} (8,346) = 4,173$$

$$Zn \alpha_{Zn^{2+}} = 6$$

- Koefisien aktifitas ion Zn^{2+} , ($\gamma_{Zn^{2+}}$)

$$\text{Log } \gamma_{Zn^{2+}} = \frac{-0,509 \times (Z_{Zn^{2+}})^2 \times \sqrt{\mu}}{1 + 0,328 \alpha_{Zn^{2+}} \sqrt{\mu}} = \frac{-0,509 \times (2)^2 \times \sqrt{4,173}}{1 + 0,328 \times 6 \sqrt{4,173}} = \frac{-4,159}{5,020} = -0,828$$

$$\gamma_{Zn^{2+}} = 0,148$$

- Aktifitas ion $Zn^{2+} = a_{Zn^{2+}} = \gamma_{Zn^{2+}} [M_{Zn^{2+}}] = 0,148 \times 0,294 = 0,435 \times 10^{-1}$

$$Ni \alpha_{Ni^{2+}} = 6$$

- Koefisien aktifitas ion Ni^{2+} , ($\gamma_{Ni^{2+}}$)

$$\text{Log } \gamma_{\text{Ni}^{2+}} = \frac{-0,509 \times (Z_{\text{Ni}^{2+}})^2 \times \sqrt{\mu}}{1 + 0,328 \alpha_{\text{Ni}^{2+}} \sqrt{\mu}} = \frac{-0,509 \times (2)^2 \times \sqrt{4,173}}{1 + 0,328 \times 6 \sqrt{4,173}} = \frac{-4,159}{5,020} = -0,828$$

$$\gamma_{\text{Ni}^{2+}} = 0,148$$

- Aktivitas ion $\text{Ni}^{2+} = a_{\text{Ni}^{2+}} = \gamma_{\text{Ni}^{2+}} [M_{\text{Ni}^{2+}}] = 0,148 \times 0,042 = 6,216 \times 10^{-3}$

$$\text{Fe } \alpha_{\text{Fe}^{2+}} = 6$$

- Koefisien aktivitas ion Fe^{2+} , ($\gamma_{\text{Fe}^{2+}}$)

$$\text{Log } \gamma_{\text{Fe}^{2+}} = \frac{-0,509 \times (Z_{\text{Fe}^{2+}})^2 \times \sqrt{\mu}}{1 + 0,328 \alpha_{\text{Fe}^{2+}} \sqrt{\mu}} = \frac{-0,509 \times (2)^2 \times \sqrt{4,173}}{1 + 0,328 \times 6 \sqrt{4,173}} = \frac{-4,159}{5,020} = -0,828$$

$$\gamma_{\text{Fe}^{2+}} = 0,148$$

- Aktivitas ion $\text{Fe}^{2+} = a_{\text{Fe}^{2+}} = \gamma_{\text{Fe}^{2+}} [M_{\text{Fe}^{2+}}] = 0,148 \times 0,036 = 5,328 \times 10^{-3}$

$$\begin{aligned} E_{\text{sel}} &= E_{\text{sel}}^0 - \frac{2,303 RT}{n F} \log \frac{(a_{\text{Zn}})^2 (a_{\text{Ni}})^2 (a_{\text{Fe}})^2 (a_{\text{H}_2})^2 (a_{\text{O}_2})^3}{(a_{\text{Zn}^{2+}})^2 (a_{\text{Ni}^{2+}})^2 (a_{\text{Fe}^{2+}})^2 (a_{\text{H}_2\text{O}})^6} \\ E_{\text{sel}} &= E_{\text{sel}}^0 - \frac{2,303 RT}{n F} \log \frac{1}{(a_{\text{Zn}^{2+}})^2 (a_{\text{Ni}^{2+}})^2 (a_{\text{Fe}^{2+}})^2} \\ &= -1,713 - \frac{2,303 \times 8,314 \times 301,15}{6 \times 96487} \log \frac{1}{(0,435 \times 10^{-1})^2 (6,216 \times 10^{-3})^2 (5,328 \times 10^{-3})^2} \\ &= -1,713 - 0,996 \times 10^{-2} \log \frac{1}{0,208 \times 10^{-11}} \\ &= -1,713 - 0,996 \times 10^{-2} (11,683) = -1,713 - 0,1163 = -1,8293 \text{ volt} \end{aligned}$$

Sedangkan potensial lebih elektroda Pt terhadap gas Hidrogen dan Oksigen adalah 0,44 volt dan 0,03 volt (Purnawan, 2003), sehingga potensial yang harus diberikan :

$$E_{\text{sel}} = 1,8293 + 0,44 + 0,03 = \mathbf{2,2993 \text{ volt}}$$

commit to user

commit to user

- Dengan penambahan EDTA 0,200 M

Tabel Lampiran 5. Molaritas Bahan-Bahan dalam Larutan Elektrolit dengan Penambahan EDTA 0,200 M

No.	Komposisi Bahan	Massa rumus	Konsentrasi (g ^L ⁻¹)	mol	Molar (M)
1	ZnCl ₂	136,28	40,000	0,294	0,294
2	NiCl ₂ ·6H ₂ O	237,70	10,000	0,042	0,042
3	FeSO ₄ ·7H ₂ O	278,02	10,000	0,036	0,036
4	H ₃ BO ₃	61,84	16,000	0,259	0,259
5	NH ₄ Cl	53,49	25,000	0,467	0,467
6	EDTA	372,24	74,448	0,200	0,200

- Kekuatan ion larutan (μ)

$$\mu = \frac{1}{2} \left((M_{Zn^{2+}} \times Z_{Zn^{2+}}^2) + (2 M_{Cl^-} \times Z_{Cl^-}^2) + (M_{Ni^{2+}} \times Z_{Ni^{2+}}^2) + (2 M_{Cl^-} \times Z_{Cl^-}^2) + (M_{Fe^{2+}} \times Z_{Fe^{2+}}^2) + (M_{SO_4^{2-}} \times Z_{SO_4^{2-}}^2) + (3 M_{H^+} \times Z_{H^+}^2) + (M_{BO_3^{3-}} \times Z_{BO_3^{3-}}^2) + (M_{NH_4^+} \times Z_{NH_4^+}^2) + (M_{Cl^-} \times Z_{Cl^-}^2) + (4 M_{H^+} \times Z_{H^+}^2) + (M_{EDTA^{4-}} \times Z_{EDTA^{4-}}^2) \right)$$

$$\mu = \frac{1}{2} ((0,294 (2)^2) + (2 \times 0,294 (-1)^2) + (0,042 (2)^2) + (2 \times 0,042 (-1)^2) + (0,036 (2)^2) + (0,036 (-2)^2) + (3 \times 0,259 (1)^2) + (0,259 (-3)^2) + (0,467 (1)^2) + (0,467 (-1)^2) + (4 \times 0,200 (1)^2) + (0,200 (-4)^2))$$

$$\mu = \frac{1}{2} (1,176) + (0,588) + (0,168) + (0,084) + (0,144) + (0,144) + (0,777) + (2,331) + (0,467) + (0,467) + (0,800) + (3,200)$$

$$\mu = \frac{1}{2} (10,346) = 5,173$$

$$Zn \alpha_{Zn^{2+}} = 6$$

- Koefisien aktifitas ion Zn^{2+} , ($\gamma_{Zn^{2+}}$)

$$\text{Log } \gamma_{Zn^{2+}} = \frac{-0,509 \times (Z_{Zn^{2+}})^2 \times \sqrt{\mu}}{1 + 0,328 \alpha_{Zn^{2+}} \sqrt{\mu}} = \frac{-0,509 \times (2)^2 \times \sqrt{5,173}}{1 + 0,328 \times 6 \sqrt{5,173}} = \frac{-4,631}{5,476} = -0,846$$

$$\gamma_{Zn^{2+}} = 0,142$$

- Aktifitas ion $Zn^{2+} = a_{Zn^{2+}} = \gamma_{Zn^{2+}} [M_{Zn^{2+}}] = 0,142 \times 0,294 = 0,417 \times 10^{-1}$

$$Ni \alpha_{Ni^{2+}} = 6$$

- Koefisien aktifitas ion Ni^{2+} , ($\gamma_{Ni^{2+}}$)

$$\text{Log } \gamma_{\text{Ni}^{2+}} = \frac{-0,509 \times (Z_{\text{Ni}^{2+}})^2 \times \sqrt{\mu}}{1 + 0,328 \alpha_{\text{Ni}^{2+}} \sqrt{\mu}} = \frac{-0,509 \times (2)^2 \times \sqrt{5,173}}{1 + 0,328 \times 6 \sqrt{5,173}} = \frac{-4,631}{5,476} = -0,846$$

$$\gamma_{\text{Ni}^{2+}} = 0,142$$

- Aktivitas ion $\text{Ni}^{2+} = a_{\text{Ni}^{2+}} = \gamma_{\text{Ni}^{2+}} [M_{\text{Ni}^{2+}}] = 0,142 \times 0,042 = 5,964 \times 10^{-3}$

$$\text{Fe } \alpha_{\text{Fe}^{2+}} = 6$$

- Koefisien aktivitas ion Fe^{2+} , ($\gamma_{\text{Fe}^{2+}}$)

$$\text{Log } \gamma_{\text{Fe}^{2+}} = \frac{-0,509 \times (Z_{\text{Fe}^{2+}})^2 \times \sqrt{\mu}}{1 + 0,328 \alpha_{\text{Fe}^{2+}} \sqrt{\mu}} = \frac{-0,509 \times (2)^2 \times \sqrt{5,173}}{1 + 0,328 \times 6 \sqrt{5,173}} = \frac{-4,631}{5,476} = -0,846$$

$$\gamma_{\text{Fe}^{2+}} = 0,142$$

- Aktivitas ion $\text{Fe}^{2+} = a_{\text{Fe}^{2+}} = \gamma_{\text{Fe}^{2+}} [M_{\text{Fe}^{2+}}] = 0,142 \times 0,036 = 5,112 \times 10^{-3}$

$$\begin{aligned} E_{\text{sel}} &= E_{\text{sel}}^0 - \frac{2,303 RT}{n F} \log \frac{(a_{\text{Zn}})^2 (a_{\text{Ni}})^2 (a_{\text{Fe}})^2 (a_{\text{H}_2})^2 (a_{\text{O}_2})^3}{(a_{\text{Zn}^{2+}})^2 (a_{\text{Ni}^{2+}})^2 (a_{\text{Fe}^{2+}})^2 (a_{\text{H}_2\text{O}})^6} \\ E_{\text{sel}} &= E_{\text{sel}}^0 - \frac{2,303 RT}{n F} \log \frac{1}{(a_{\text{Zn}^{2+}})^2 (a_{\text{Ni}^{2+}})^2 (a_{\text{Fe}^{2+}})^2} \\ &= -1,713 - \frac{2,303 \times 8,314 \times 301,15}{6 \times 96487} \log \frac{1}{(0,417 \times 10^{-1})^2 (5,964 \times 10^{-3})^2 (5,112 \times 10^{-3})^2} \\ &= -1,713 - 0,996 \times 10^{-2} \log \frac{1}{0,162 \times 10^{-11}} \\ &= -1,713 - 0,996 \times 10^{-2} (11,792) = -1,713 - 0,1174 = -1,8304 \text{ volt} \end{aligned}$$

Sedangkan potensial lebih elektroda Pt terhadap gas Hidrogen dan Oksigen adalah 0,44 volt dan 0,03 volt (Purnawan, 2003), sehingga potensial yang harus diberikan :

$$E_{\text{sel}} = 1,8304 + 0,44 + 0,03 = \mathbf{2,3004 \text{ volt}}$$

commit to user

commit to user

LAMPIRAN 3

Hasil Pengamatan Proses Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe
 Tabel Lampiran 6. Hasil Pengamatan Proses Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe

a. Kontrol

Variasi Potensial Kerja (volt)	0,000 M EDTA	
	Arus (mA)	Ln i (mA)
2,50	$5,7 \pm 0,5$	$1,7 \pm 0,1$
3,00	$21,4 \pm 0,9$	$3,0 \pm 0,0$
4,00	$48,0 \pm 0,4$	$3,9 \pm 0,0$
5,00	$81,3 \pm 15,3$	$4,4 \pm 0,2$

Variasi Potensial Kerja (volt)	0,025 M EDTA	
	Arus (mA)	Ln i (mA)
2,50	$3,9 \pm 1,7$	$1,3 \pm 0,5$
3,00	$18,7 \pm 3,0$	$2,9 \pm 0,1$
4,00	$46,3 \pm 4,9$	$3,8 \pm 0,1$
5,00	$91,7 \pm 3,6$	$4,5 \pm 0,0$

Variasi Potensial Kerja (volt)	0,050 M EDTA	
	Arus (mA)	Ln i (mA)
2,50	$3,2 \pm 0,4$	$1,1 \pm 0,1$
3,00	$13,0 \pm 0,6$	$2,6 \pm 0,0$
4,00	$42,6 \pm 0,9$	$3,8 \pm 0,0$
5,00	$80,7 \pm 5,8$	$4,4 \pm 0,1$

b. Eksperimen

Variasi Potensial Kerja (volt)	0,100 M EDTA	
	Arus (mA)	Ln i (mA)
2,50	$4,7 \pm 0,4$	$1,5 \pm 0,0$
3,00	$15,7 \pm 1,9$	$2,6 \pm 0,1$
4,00	$51,9 \pm 0,6$	$3,9 \pm 0,0$
5,00	$89,4 \pm 13,7$	$4,4 \pm 0,1$

Variasi Potensial Kerja (volt)	0,200 M EDTA	
	Arus (mA)	Ln i (mA)
2,50	$5,5 \pm 0,1$	$1,7 \pm 0,0$
3,00	$24,5 \pm 0,9$	$3,2 \pm 0,0$
4,00	$61,2 \pm 1,5$	$4,1 \pm 0,0$
5,00	$124,2 \pm 3,0$	$4,8 \pm 0,0$

LAMPIRAN 4

Data Berat Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe

Tabel Lampiran 7. Data Berat Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe

a. Kontrol

Variasi Potensial Kerja (volt)	0,000 M EDTA				
	Berat Lapisan (mg)				
	I	II	III	Rata"	σ
2,50	1,0	1,0	2,0	1,3	0,6
3,00	2,0	3,0	3,0	2,7	0,6
4,00	4,0	4,0	4,0	4,0	0,0
5,00	4,0	5,0	6,0	5,0	1,0

Variasi Potensial Kerja (volt)	0,025 M EDTA				
	Berat Lapisan (mg)				
	I	II	III	Rata"	σ
2,50	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0
3,00	2,0	2,0	3,0	2,3	0,6
4,00	3,0	3,0	4,0	3,3	0,6
5,00	4,0	4,0	5,0	4,3	0,6

Variasi Potensial Kerja (volt)	0,050 M EDTA				
	Berat Lapisan (mg)				
	I	II	III	Rata"	σ
2,50	ttd	1,0	1,0	1,0	0,0
3,00	1,0	2,0	2,0	1,7	0,6
4,00	2,0	3,0	4,0	3,0	1,0
5,00	3,0	4,0	5,0	4,0	1,0

b. Eksperimen

Variasi Potensial Kerja (volt)	0,100 M EDTA				
	Berat Lapisan (mg)				
	I	II	III	Rata"	σ
2,50	ttd	1,0	1,0	1,0	0,0
3,00	1,0	2,0	2,0	1,7	0,6
4,00	2,0	3,0	3,0	2,7	0,6
5,00	3,0	4,0	5,0	4,0	1,0

Variasi Potensial Kerja (volt)	0,200 M EDTA				
	Berat Lapisan (mg)				
	I	II	III	Rata"	σ
2,50	ttd	ttd	1,0	1,0	0,0
3,00	1,0	2,0	2,0	1,7	0,6
4,00	2,0	3,0	3,0	2,7	0,6
5,00	3,0	4,0	4,0	3,7	0,6

Keterangan : ttd (tidak terdeteksi)

LAMPIRAN 5

Data Pengukuran Butiran Deposit Lapisan Elektroplating Campuran

Zn-Ni-Fe

Tabel Lampiran 8. Ukuran Butiran Deposit Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe tanpa Penambahan EDTA (0,000 M)

No	Ukuran butiran (μm)			
	2,50 volt	3,00 volt	4,00 volt	5,00 volt
1	4,07	3,19	4,81	6,24
2	5,89	5,57	5,63	6,33
3	5,28	5,98	5,10	6,65
4	6,15	5,07	5,63	6,04
5	5,89	5,13	5,33	6,18
6	5,22	4,34	5,63	5,13
7	4,63	5,30	4,54	5,25
8	5,19	4,54	4,69	5,28
9	4,34	4,66	5,39	5,83
10	3,31	5,72	5,45	5,74
11	4,66	5,48	5,48	5,10
12	4,04	4,63	5,89	5,63
13	5,22	4,89	5,01	5,92
14	6,89	5,95	5,54	5,54
15	3,93	5,01	5,42	6,83
16	4,16	4,45	5,36	5,60
17	2,75	5,01	4,81	5,83
18	3,84	4,10	5,22	6,21
19	3,22	5,04	5,74	6,59
20	4,98	4,37	5,33	4,84
21	3,99	5,13	4,95	5,51
22	4,10	4,75	5,04	4,98
23	2,46	5,28	5,13	5,86
24	5,25	5,16	4,98	5,19
25	4,37	5,48	4,63	5,54
26	3,66	5,04	4,95	4,48
27	3,46	4,92	5,45	5,69
28	3,75	5,42	4,78	5,19
29	4,31	5,39	4,16	4,78

Lanjutan Tabel Lampiran 8. Tanpa Penambahan EDTA 0,000 M

No	Ukuran butiran (μm)			
	2,50 volt	3,00 volt	4,00 volt	5,00 volt
30	3,46	4,48	5,69	5,25
31	4,48	6,01	4,57	4,75
32	6,15	5,69	5,13	4,16
33	3,17	3,90	4,63	5,51
34	5,45	3,69	5,22	5,92
35	2,78	4,45	4,87	5,54
36	3,37	4,04	5,92	5,48
37	4,66	4,10	5,16	4,04
38	2,67	4,34	4,84	5,92
39	6,13	4,69	4,89	5,74
40	3,63	3,43	4,92	5,57
41	4,34	4,84	5,83	5,04
42	3,99	4,13	6,51	5,01
43	3,81	4,89	5,80	5,13
44	5,30	4,34	5,01	5,39
45	4,34	4,95	5,80	4,16
46	4,25	5,28	5,51	4,54
47	3,66	4,98	5,30	5,16
48	3,93	4,78	5,22	5,28
49	3,72	5,60	5,16	4,69
50	4,43	4,72	5,22	5,51
51	2,17	4,57	5,89	4,89
52	4,45	5,48	4,98	5,16
53	4,87	5,39	5,25	5,36
54	5,92	6,15	4,84	4,81
55	6,45	5,66	5,83	6,04
56	4,57	5,25	5,48	5,72
57	4,13	4,02	5,72	5,69
58	3,93	4,84	5,16	5,66
59	2,81	4,89	5,25	5,63
60	3,75	5,48	5,69	5,95
61	4,37	5,13	5,36	6,13

Lanjutan Tabel Lampiran 8. Tanpa Penambahan EDTA 0,000 M

No	Ukuran butiran (μm)			
	2,50 volt	3,00 volt	4,00 volt	5,00 volt
62	5,54	5,57	4,98	6,24
63	5,42	5,69	4,78	6,13
64	4,54	5,51	4,78	6,95
rata-rata	4,37	4,94	5,24	5,50
stdev	1,03	0,64	0,43	0,62
Kriteria	B	B	C	C



commit to user

commit to user

Tabel Lampiran 9. Ukuran Butiran Deposit Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe dengan Penambahan EDTA (0,025 M)

No	Ukuran butiran (μm)			
	2,50 volt	3,00 volt	4,00 volt	5,00 volt
1	3,60	4,28	5,30	5,42
2	3,11	4,16	6,01	5,13
3	3,05	3,84	4,95	5,19
4	3,58	4,04	4,75	5,10
5	4,31	3,87	5,48	5,33
6	4,28	4,22	5,28	5,36
7	3,02	5,04	5,13	5,54
8	4,19	5,30	5,66	5,89
9	3,63	4,69	5,33	5,16
10	3,17	5,45	5,07	5,30
11	4,66	5,13	5,16	4,84
12	3,69	5,42	5,51	5,16
13	4,54	5,77	5,19	5,07
14	4,54	5,42	5,19	4,92
15	3,46	6,71	4,92	5,51
16	3,49	5,95	4,84	5,16
17	3,99	5,83	5,04	4,95
18	4,13	4,04	5,77	4,81
19	4,28	4,92	5,10	4,81
20	5,13	4,54	4,89	5,04
21	4,48	4,07	5,74	5,13
22	4,69	4,75	5,98	4,89
23	5,33	4,40	4,75	5,16
24	4,72	4,22	5,98	5,33
25	4,04	4,92	4,98	6,01
26	3,93	5,13	5,45	5,60
27	3,60	5,07	5,54	5,42
28	4,75	5,25	5,51	4,95
29	4,07	4,92	5,04	5,04
30	3,52	5,36	4,40	5,19
31	3,87	4,63	5,45	5,42

Lanjutan Tabel Lampiran 9. Dengan Penambahan EDTA 0,025 M

No	Ukuran butiran (μm)			
	2,50 volt	3,00 volt	4,00 volt	5,00 volt
32	3,87	5,16	5,66	4,89
33	3,34	5,89	5,74	5,13
34	3,28	4,84	5,77	5,57
35	4,25	4,87	5,25	5,57
36	3,69	3,63	6,01	4,87
37	4,98	4,78	5,36	5,42
38	4,92	5,54	5,39	5,36
39	4,81	5,25	5,51	5,54
40	5,95	4,84	5,74	5,28
41	4,31	4,43	5,16	5,10
42	4,07	5,25	5,89	5,04
43	4,75	4,81	5,30	5,39
44	5,25	5,01	5,69	5,57
45	4,63	3,99	4,63	5,25
46	4,04	4,45	4,45	5,13
47	4,04	3,81	4,45	5,22
48	4,69	4,84	5,13	5,36
49	4,57	5,42	4,69	5,16
50	4,69	4,04	5,10	5,25
51	5,04	5,36	5,80	5,69
52	5,19	4,98	4,66	5,42
53	4,89	5,77	5,19	5,51
54	4,34	5,16	5,30	5,04
55	4,45	5,36	4,54	5,63
56	3,58	4,95	4,43	5,72
57	4,66	4,57	5,07	5,07
58	5,19	4,92	5,22	5,07
59	4,92	4,16	5,13	5,42
60	5,22	4,22	4,10	5,72
61	4,78	5,19	4,04	5,54
62	4,81	4,87	4,07	5,92
63	5,39	4,75	4,69	6,07

Lanjutan Tabel Lampiran 9. Dengan Penambahan EDTA 0,025 M

No	Ukuran butiran (μm)			
	2,50 volt	3,00 volt	4,00 volt	5,00 volt
64	4,51	4,95	4,78	5,80
rata-rata	4,31	4,87	5,18	5,31
stdev	0,66	0,61	0,49	0,30
Kriteria	B	B	C	C



commit to user

commit to user

Tabel Lampiran 10. Ukuran Butiran Deposit Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe dengan Penambahan EDTA (0,050 M)

No	Ukuran butiran (μm)			
	2,50 volt	3,00 volt	4,00 volt	5,00 volt
1	3,93	3,05	4,31	4,54
2	3,63	3,90	4,31	4,69
3	3,93	3,78	4,81	5,13
4	3,58	3,93	4,34	4,57
5	3,69	4,28	4,28	4,22
6	3,96	4,69	4,43	4,75
7	3,72	4,37	5,01	4,84
8	3,69	4,25	4,19	4,89
9	4,34	3,87	4,40	4,78
10	4,31	4,54	3,93	4,57
11	4,37	4,45	4,10	4,75
12	4,16	4,45	4,07	4,78
13	4,34	4,22	4,34	5,04
14	4,34	4,45	4,19	4,69
15	3,99	4,31	4,66	4,78
16	4,45	4,07	4,66	4,78
17	4,34	4,07	4,13	4,60
18	4,16	3,99	4,10	4,89
19	4,19	4,10	4,43	4,78
20	4,40	3,87	4,10	3,99
21	4,51	3,96	3,84	4,34
22	4,45	4,10	4,31	4,51
23	4,34	4,10	4,28	4,51
24	4,45	4,19	4,69	4,34
25	4,57	4,19	4,16	4,57
26	4,22	4,19	4,22	4,57
27	5,22	4,37	4,31	4,66
28	4,57	4,45	4,25	4,89
29	4,45	4,43	4,10	4,89
30	4,66	4,28	4,51	4,81
31	4,43	4,34	4,51	5,33

Lanjutan Tabel Lampiran 10. Dengan Penambahan EDTA 0,050 M

No	Ukuran butiran (μm)			
	2,50 volt	3,00 volt	4,00 volt	5,00 volt
32	4,45	4,40	4,54	5,19
33	4,57	4,57	4,51	4,63
34	4,54	4,57	4,31	4,78
35	5,04	4,54	4,28	4,54
36	4,72	4,43	4,19	4,72
37	4,07	4,57	4,40	4,57
38	4,10	4,57	4,45	4,43
39	4,22	4,57	4,40	5,25
40	3,81	4,95	4,66	5,19
41	4,34	4,57	4,72	4,48
42	4,28	4,43	4,45	4,54
43	4,19	4,69	4,57	4,40
44	4,10	4,45	4,40	5,01
45	3,87	4,63	4,40	5,19
46	4,04	4,45	4,69	4,78
47	4,54	4,57	4,63	4,69
48	4,13	4,54	4,40	4,66
49	4,16	4,63	4,72	4,66
50	4,31	4,63	5,42	5,51
51	4,92	4,63	5,36	4,72
52	4,28	4,60	4,84	4,51
53	4,40	4,28	4,89	4,57
54	3,99	4,10	4,78	4,66
55	4,43	4,34	4,95	5,39
56	4,19	4,45	5,25	4,89
57	3,93	4,43	5,42	5,13
58	4,02	4,34	4,40	4,51
59	4,34	4,51	5,16	5,01
60	3,96	4,48	4,66	4,89
61	4,40	4,31	4,92	4,43
62	4,31	4,48	4,75	4,57
63	3,81	4,60	4,45	4,66

Lanjutan Tabel Lampiran 10. Dengan Penambahan EDTA 0,050 M

No	Ukuran butiran (μm)			
	2,50 volt	3,00 volt	4,00 volt	5,00 volt
64	3,87	4,28	4,51	4,78
rata-rata	4,25	4,34	4,51	4,74
stdev	0,32	0,29	0,35	0,28
Kriteria	B	B	B	B



commit to user

commit to user

Tabel Lampiran 11. Ukuran Butiran Deposit Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe dengan Penambahan EDTA (0,100 M)

No	Ukuran butiran (μm)			
	2,50 volt	3,00 volt	4,00 volt	5,00 volt
1	3,99	3,69	4,78	4,34
2	4,34	3,93	4,87	4,66
3	4,22	4,19	4,69	4,40
4	3,99	3,93	4,57	4,57
5	4,45	4,10	4,22	4,51
6	4,10	4,31	4,28	4,66
7	3,99	4,22	3,99	4,69
8	4,34	4,28	3,99	4,78
9	3,96	4,25	4,07	4,60
10	3,72	4,10	4,31	5,01
11	4,10	3,93	4,16	5,01
12	3,87	4,22	4,10	4,66
13	4,19	4,19	4,28	4,60
14	4,51	4,22	4,34	4,54
15	3,84	4,07	4,34	4,78
16	3,81	4,13	4,16	4,34
17	3,84	4,10	4,10	4,45
18	3,84	4,07	4,31	4,60
19	3,87	4,10	4,31	4,92
20	4,04	3,99	4,10	4,72
21	3,99	4,22	4,16	4,95
22	3,99	4,19	4,16	4,75
23	4,04	4,28	3,87	4,87
24	3,69	4,10	4,16	4,87
25	3,87	4,10	4,16	4,16
26	3,99	4,16	4,66	4,16
27	3,93	4,10	4,57	4,07
28	3,96	3,93	4,51	4,63
29	3,84	4,13	4,10	4,28
30	3,87	4,31	4,31	3,99
31	3,93	4,13	4,34	4,54

Lanjutan Tabel Lampiran 11. Dengan Penambahan EDTA 0,100 M

No	Ukuran butiran (μm)			
	2,50 volt	3,00 volt	4,00 volt	5,00 volt
32	3,96	4,16	4,16	4,40
33	4,37	3,99	4,16	4,28
34	4,19	3,69	4,19	4,69
35	4,02	3,99	4,43	4,63
36	4,16	3,99	4,45	4,43
37	4,22	4,45	4,45	4,51
38	4,04	4,31	4,54	4,66
39	4,07	4,37	4,69	4,31
40	4,07	4,31	4,57	4,92
41	3,96	4,19	4,45	4,43
42	3,96	4,10	4,54	4,45
43	3,63	4,31	4,63	4,51
44	3,58	3,93	4,43	4,31
45	3,99	4,22	4,48	4,28
46	3,87	4,19	4,51	4,81
47	3,52	4,10	4,60	4,45
48	3,78	4,07	4,54	4,48
49	4,04	4,22	4,54	4,43
50	3,72	3,99	4,57	4,45
51	3,93	3,99	4,66	4,19
52	3,72	4,19	4,54	4,48
53	3,84	3,99	4,63	4,43
54	3,87	4,34	4,54	5,13
55	3,58	4,10	4,48	3,87
56	3,78	4,19	4,63	4,07
57	4,04	4,07	4,45	5,16
58	3,93	4,19	4,07	5,13
59	4,75	4,16	4,16	5,16
60	3,87	4,07	4,45	4,87
61	4,37	3,72	5,10	5,04
62	3,99	4,07	4,54	5,28
63	4,31	4,34	4,51	5,25

Lanjutan Tabel Lampiran 11. Dengan Penambahan EDTA 0,100 M

No	Ukuran butiran (μm)			
	2,50 volt	3,00 volt	4,00 volt	5,00 volt
64	3,81	4,13	4,81	4,95
rata-rata	3,98	4,12	4,40	4,60
stdev	0,23	0,15	0,24	0,32
Kriteria	A	B	B	B



commit to user

commit to user

Tabel Lampiran 12. Ukuran Butiran Deposit Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe dengan Penambahan EDTA (0,200 M)

No	Ukuran butiran (μm)			
	2,50 volt	3,00 volt	4,00 volt	5,00 volt
1	3,72	3,87	4,25	4,25
2	3,84	4,07	4,34	4,51
3	3,84	4,13	4,19	4,25
4	3,52	4,10	4,07	4,37
5	3,99	4,19	4,22	4,57
6	3,99	4,04	4,25	4,45
7	3,87	3,93	4,22	4,37
8	3,93	4,04	4,28	4,45
9	3,72	3,99	4,37	4,28
10	3,96	3,99	4,37	4,43
11	4,40	3,87	4,19	4,48
12	3,81	3,84	4,16	4,51
13	3,87	4,10	4,37	4,54
14	3,84	3,96	4,16	4,43
15	4,25	4,07	4,04	4,57
16	3,87	3,93	3,96	4,40
17	3,60	4,07	4,19	4,37
18	3,81	3,87	4,28	4,28
19	4,40	3,96	4,31	4,45
20	3,52	4,02	4,28	4,37
21	3,72	4,07	4,04	4,40
22	3,87	4,04	4,04	4,45
23	4,25	3,96	4,04	4,57
24	3,93	4,04	4,13	4,31
25	3,66	3,84	4,10	4,28
26	3,75	4,07	3,96	4,45
27	4,34	3,84	4,19	4,43
28	3,75	3,96	4,28	4,31
29	3,87	3,87	4,22	4,69
30	3,93	3,96	4,16	4,43
31	4,19	3,72	4,04	5,04

Lanjutan Tabel Lampiran 12. Dengan Penambahan EDTA 0,200 M

No	Ukuran butiran (μm)			
	2,50 volt	3,00 volt	4,00 volt	5,00 volt
32	3,87	4,13	4,16	4,57
33	3,75	3,96	4,10	4,51
34	3,81	3,96	4,07	4,48
35	4,54	3,49	4,16	4,45
36	3,25	3,81	4,25	4,31
37	3,93	4,07	4,22	4,54
38	3,75	4,04	4,16	4,40
39	4,40	4,02	4,22	4,07
40	3,93	3,96	4,04	4,31
41	3,87	3,87	3,72	4,43
42	3,87	3,93	3,87	4,40
43	4,40	3,69	4,57	4,51
44	3,69	4,07	4,04	4,34
45	3,96	3,99	3,93	4,72
46	3,93	3,93	4,19	4,43
47	4,22	3,69	4,16	4,54
48	3,72	3,96	4,22	4,31
49	3,72	3,78	4,16	4,19
50	3,78	3,81	4,10	4,37
51	4,48	3,60	4,31	4,54
52	3,60	3,96	4,10	4,43
53	3,84	4,07	4,22	4,51
54	3,69	3,99	4,28	4,43
55	4,51	3,60	4,31	4,57
56	3,87	3,96	4,22	4,51
57	3,93	4,16	3,93	4,45
58	3,96	4,07	3,90	4,43
59	3,96	4,25	3,75	4,45
60	3,72	4,04	3,87	4,31
61	3,96	4,10	4,28	4,31
62	3,87	3,93	4,31	4,48
63	4,13	3,69	4,34	4,40

Lanjutan Tabel Lampiran 12. Dengan Penambahan EDTA 0,200 M

No	Ukuran butiran (μm)			
	2,50 volt	3,00 volt	4,00 volt	5,00 volt
64	3,78	4,04	4,43	4,31
rata-rata	3,92	3,95	4,16	4,43
stdev	0,26	0,15	0,16	0,14
Kriteria	A	A	B	B

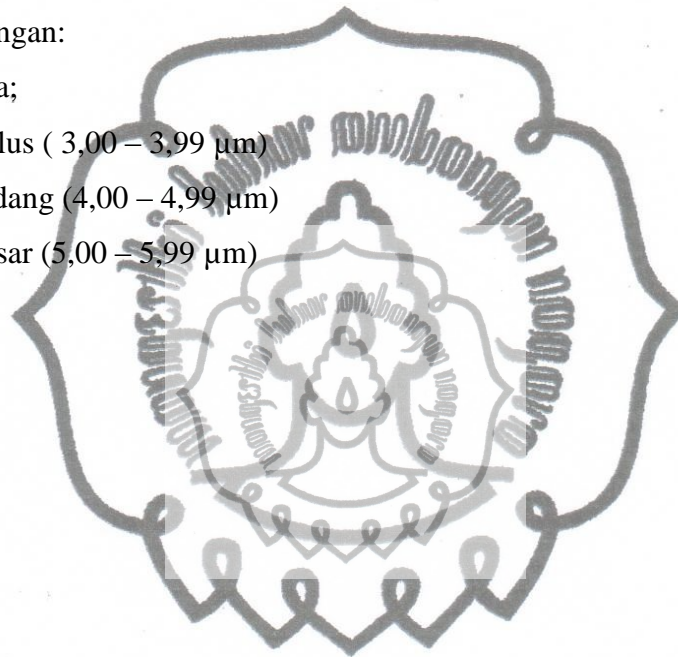
Keterangan:

Kriteria;

A = halus (3,00 – 3,99 μm)

B = sedang (4,00 – 4,99 μm)

C = kasar (5,00 – 5,99 μm)



commit to user

commit to user

LAMPIRAN 6

Data Kekerasan Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe

Tabel Lampiran 13. Data Kekerasan Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe

a. Kontrol

Variasi Potensial Kerja (volt)	0,000 M EDTA				
	Kekerasan (Hv)				
	I	II	III	Rata"	σ
2,50	101,9	104,1	105,0	103,7	1,6
3,00	113,2	113,6	114,0	113,6	0,4
4,00	110,4	116,5	117,0	114,6	3,7
5,00	112,4	117,2	118,5	116,0	3,2

Variasi Potensial Kerja (volt)	0,025 M EDTA				
	Kekerasan (Hv)				
	I	II	III	Rata"	σ
2,50	124,3	132,0	137,5	131,3	6,6
3,00	139,5	139,5	140,5	139,8	0,6
4,00	146,0	142,0	147,4	145,1	2,8
5,00	148,5	150,0	154,7	151,1	3,2

Variasi Potensial Kerja (volt)	0,050 M EDTA				
	Kekerasan (Hv)				
	I	II	III	Rata"	σ
2,50	124,5	125,0	126,2	125,2	0,9
3,00	128,2	133,3	134,4	132,0	3,3
4,00	129,0	134,0	138,0	133,7	4,5
5,00	135,3	138,3	141,7	138,4	3,2

b. Eksperimen

Variasi Potensial Kerja (volt)	0,100 M EDTA				
	Kekerasan (Hv)				
	I	II	III	Rata"	σ
2,50	139,6	147,4	149,4	145,5	5,2
3,00	151,6	152,8	153,9	152,8	1,2
4,00	159,1	159,8	162,1	160,3	1,6
5,00	161,6	166,1	169,8	165,8	4,1

Variasi Potensial Kerja (volt)	0,200 M EDTA				
	Kekerasan (Hv)				
	I	II	III	Rata"	σ
2,50	145,1	152,5	155,6	151,1	5,4
3,00	149,0	155,1	157,9	154,0	4,6
4,00	151,5	154,7	157,2	154,5	2,9
5,00	153,5	159,9	164,7	159,3	5,7

LAMPIRAN 7.

**Analisa Pengaruh Penambahan Konsentrasi EDTA terhadap Karakteristik
Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe**

Tabel Lampiran 14. Data Nilai Potensial Kerja Optimum untuk Berat Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe

[EDTA] mol/L	Potensial kerja optimum (volt)	Berat Lapisan (mg)
0,000	5,656	5,141
0,025	5,733	4,458
0,050	8,911	5,836
0,100	-6,900	-3,816
0,200	12,135	6,879

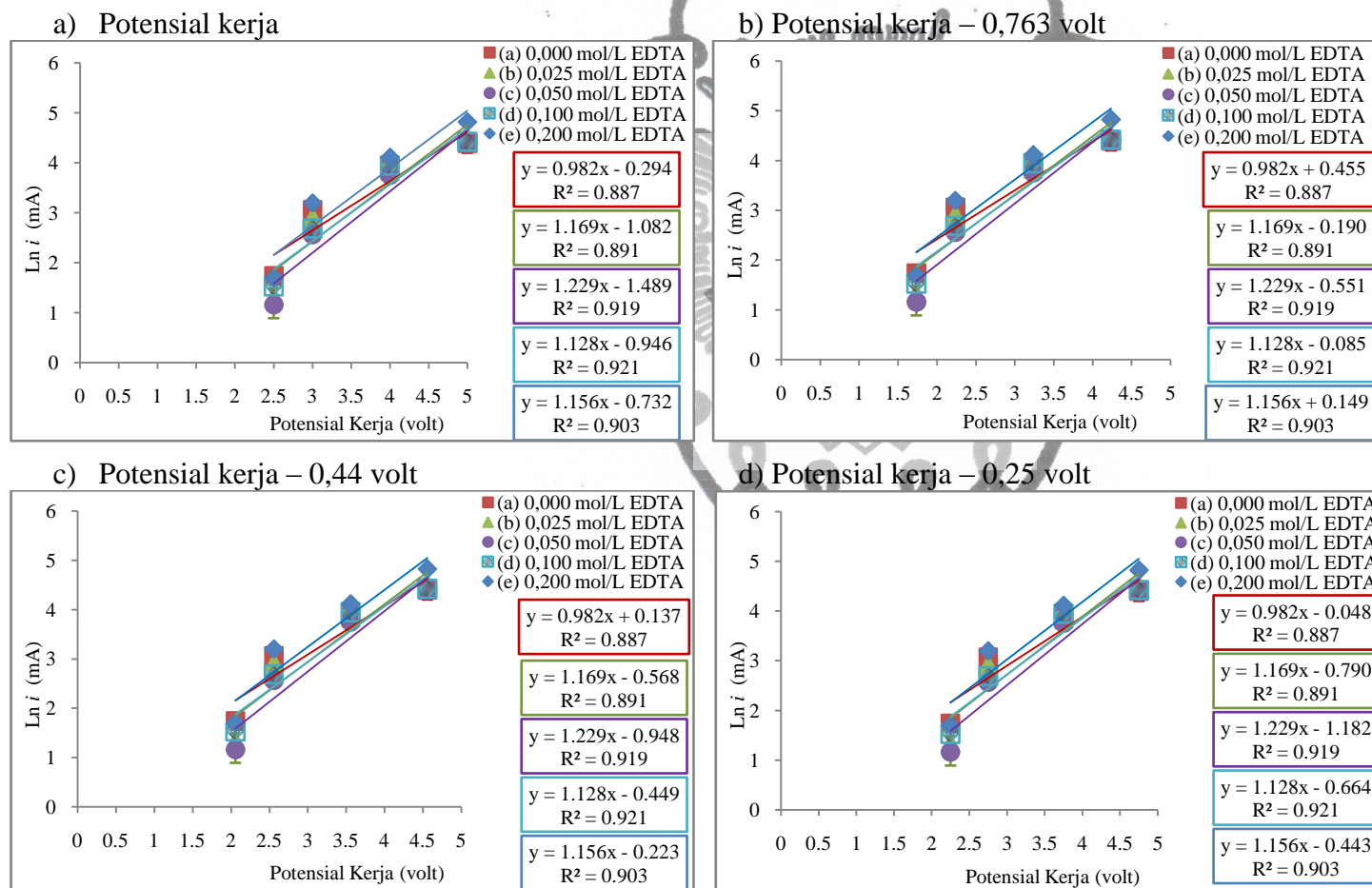
Tabel Lampiran 15. Data Nilai Potensial Kerja Optimum untuk Ukuran Butiran Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe

[EDTA] mol/L	Potensial kerja optimum (volt)	Ukuran Butiran (μm)
0,000	4,960	5,491
0,025	4,612	5,340
0,050	-1,236	3,985
0,100	8,286	4,913
0,200	1,467	3,852

Tabel Lampiran 16. Data Nilai Potensial Kerja Optimum untuk Kekerasan Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe

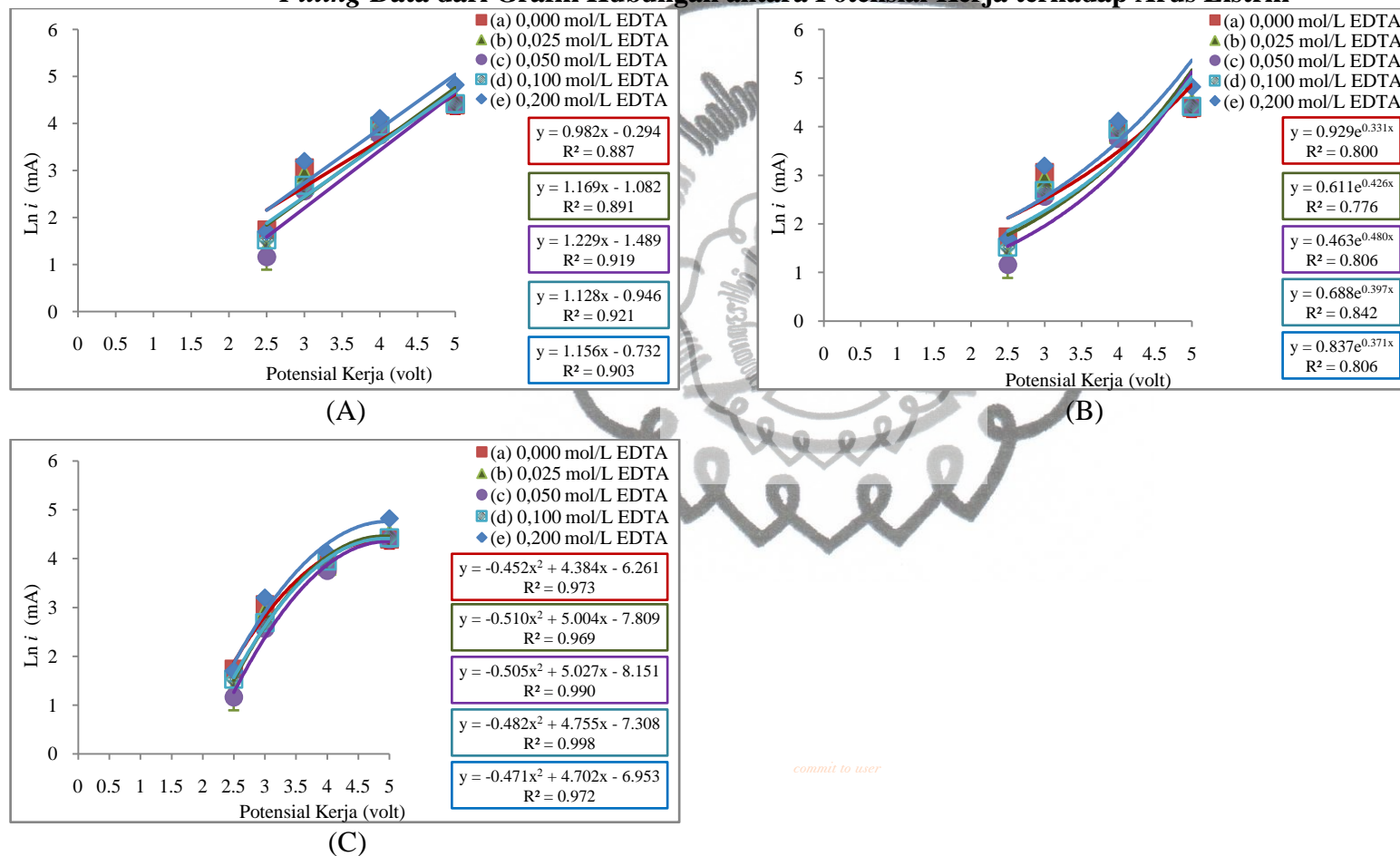
[EDTA] mol/L	Potensial kerja optimum (volt)	Kekerasan (Hv)
0,000	4,342	116,955
0,025	5,563	151,309
0,050	5,773	138,688
0,100	5,649	166,476
0,200	0,990	150,485

LAMPIRAN 8

Trend Pengaruh Potensial Kerja dan Overpotential dengan Manipulasi Potensial Sel

Gambar Lampiran 1. Grafik Hubungan antara Potensial Kerja terhadap Arus Listrik untuk Menentukan *Trend* Pengaruh Potensial Kerja dan *Overpotential* dengan Manipulasi Potensial Standar Elektroda Logam Zn, Ni dan Fe.

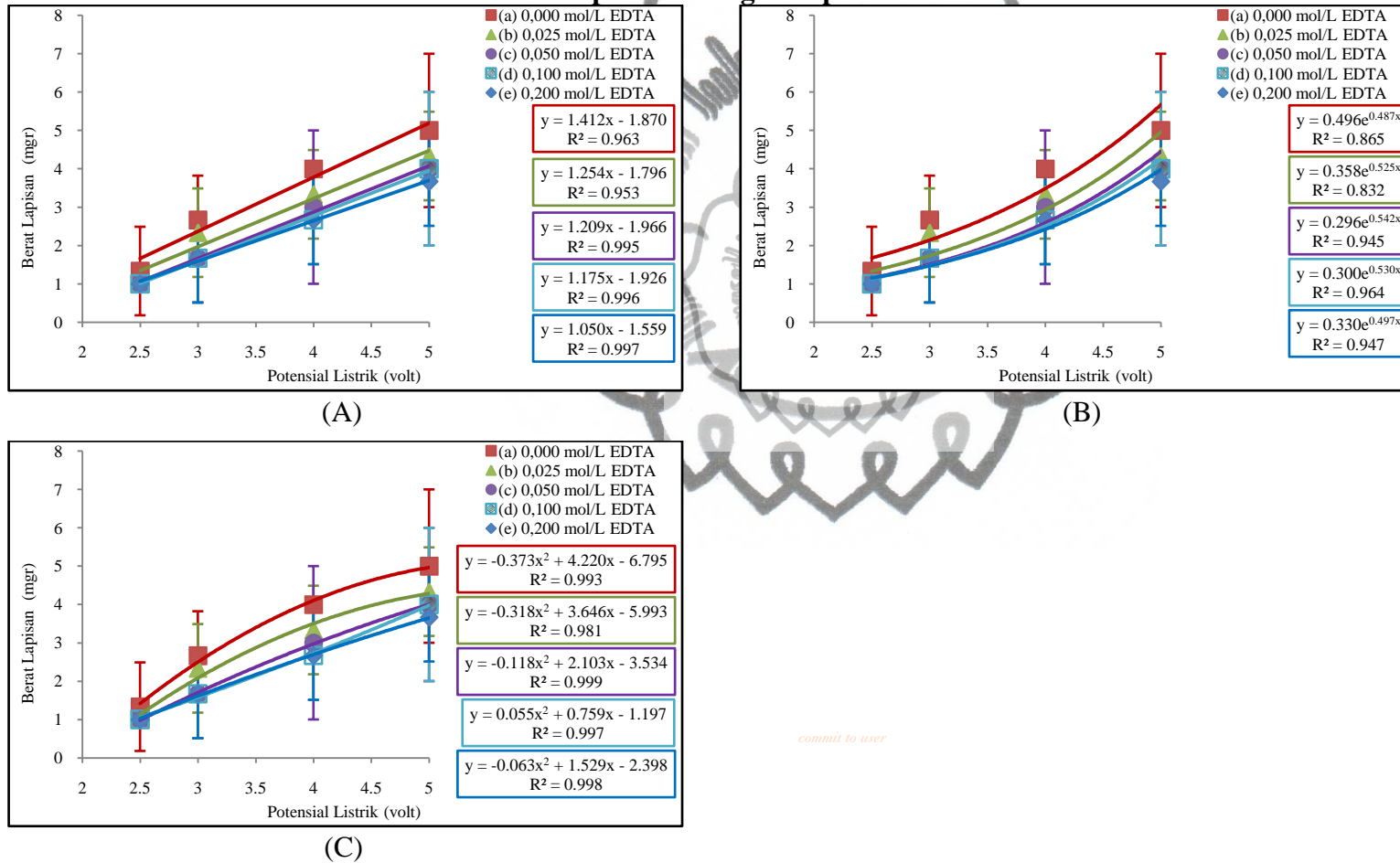
LAMPIRAN 9

Fitting Data dari Grafik Hubungan antara Potensial Kerja terhadap Arus Listrik

Gambar Lampiran 2. *Fitting Data dari Grafik Hubungan antara Potensial Kerja terhadap Arus Listrik: (A) Menurut Garis Linier; (B) Menurut Eksponensial; (C) Menurut Persamaan Kuadrat*

LAMPIRAN 10

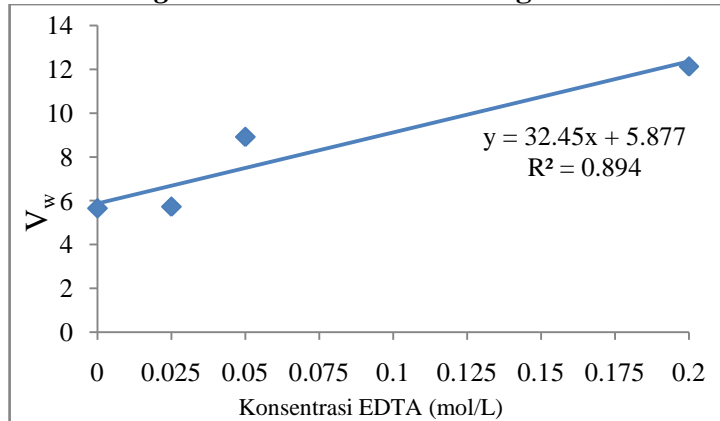
Fitting Data dari Grafik Hubungan antara Potensial Kerja pada berbagai Variasi Konsentrasi EDTA terhadap Berat Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe



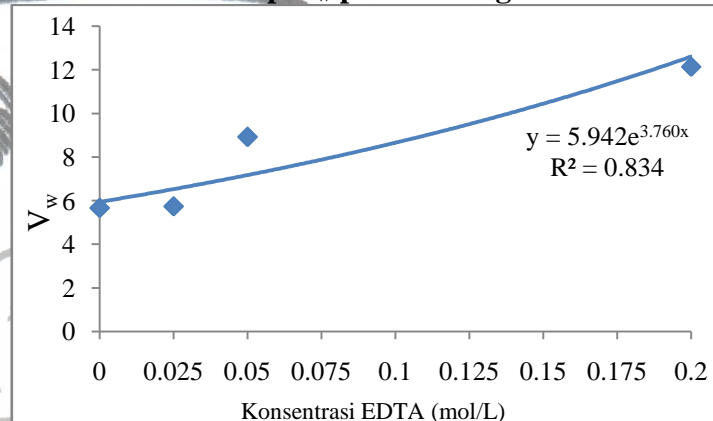
Gambar Lampiran 3. *Fitting Data dari Grafik Hubungan antara Potensial Kerja pada berbagai Variasi Konsentrasi EDTA terhadap Berat Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe: (A) Menurut Garis Linier; (B) Menurut Eksponensial; (C) Menurut Persamaan Kuadrat*

LAMPIRAN 11

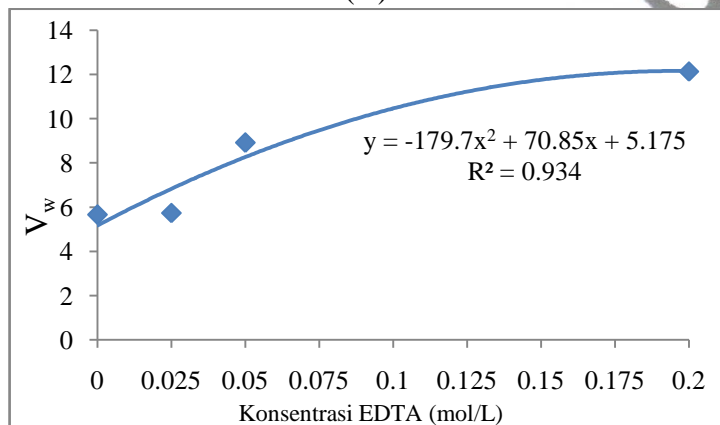
Fitting Data dari Grafik Hubungan antara Konsentrasi EDTA terhadap V_w pada berbagai Variasi Potensial Kerja



(A)



(B)



(C)

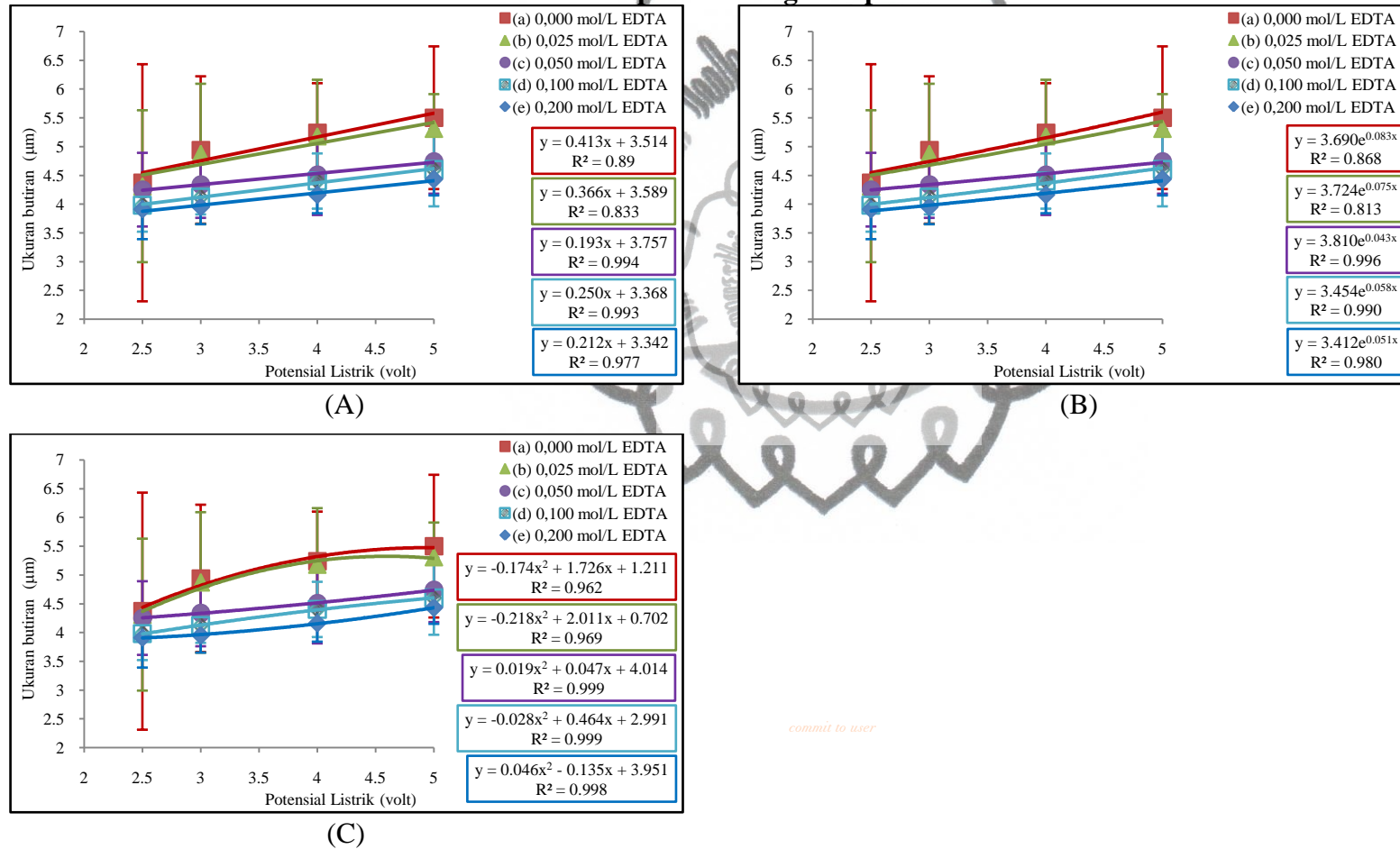
Keterangan:

V_w : Potensial kerja optimum untuk berat lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe (volt)

Gambar Lampiran 4. *Fitting Data dari Grafik Hubungan antara Konsentrasi EDTA terhadap V_w pada berbagai Variasi Potensial Kerja: (A) Menurut Garis Linier; (B) Menurut Eksponensial; (C) Menurut Persamaan Kuadrat*

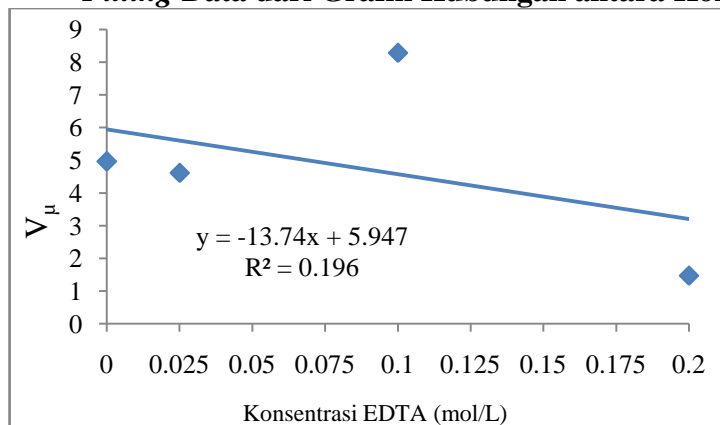
LAMPIRAN 12

Fitting Data dari Grafik Hubungan antara Potensial Kerja pada berbagai Variasi Konsentrasi EDTA terhadap Ukuran Butiran Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe

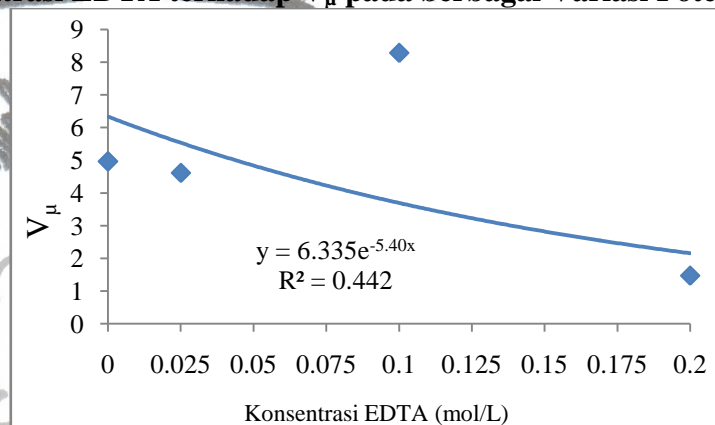


Gambar Lampiran 5. *Fitting* Data dari Grafik Hubungan antara Potensial Kerja pada berbagai Variasi Konsentrasi EDTA terhadap Ukuran Butiran Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe: (A) Menurut Garis Linier; (B) Menurut Eksponensial; (C) Menurut Persamaan Kuadrat

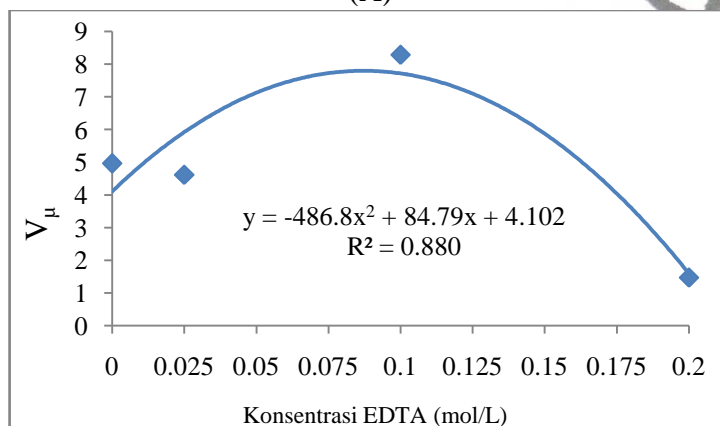
LAMPIRAN 13

Fitting Data dari Grafik Hubungan antara Konsentrasi EDTA terhadap V_μ pada berbagai Variasi Potensial Kerja

(A)



(B)



(C)

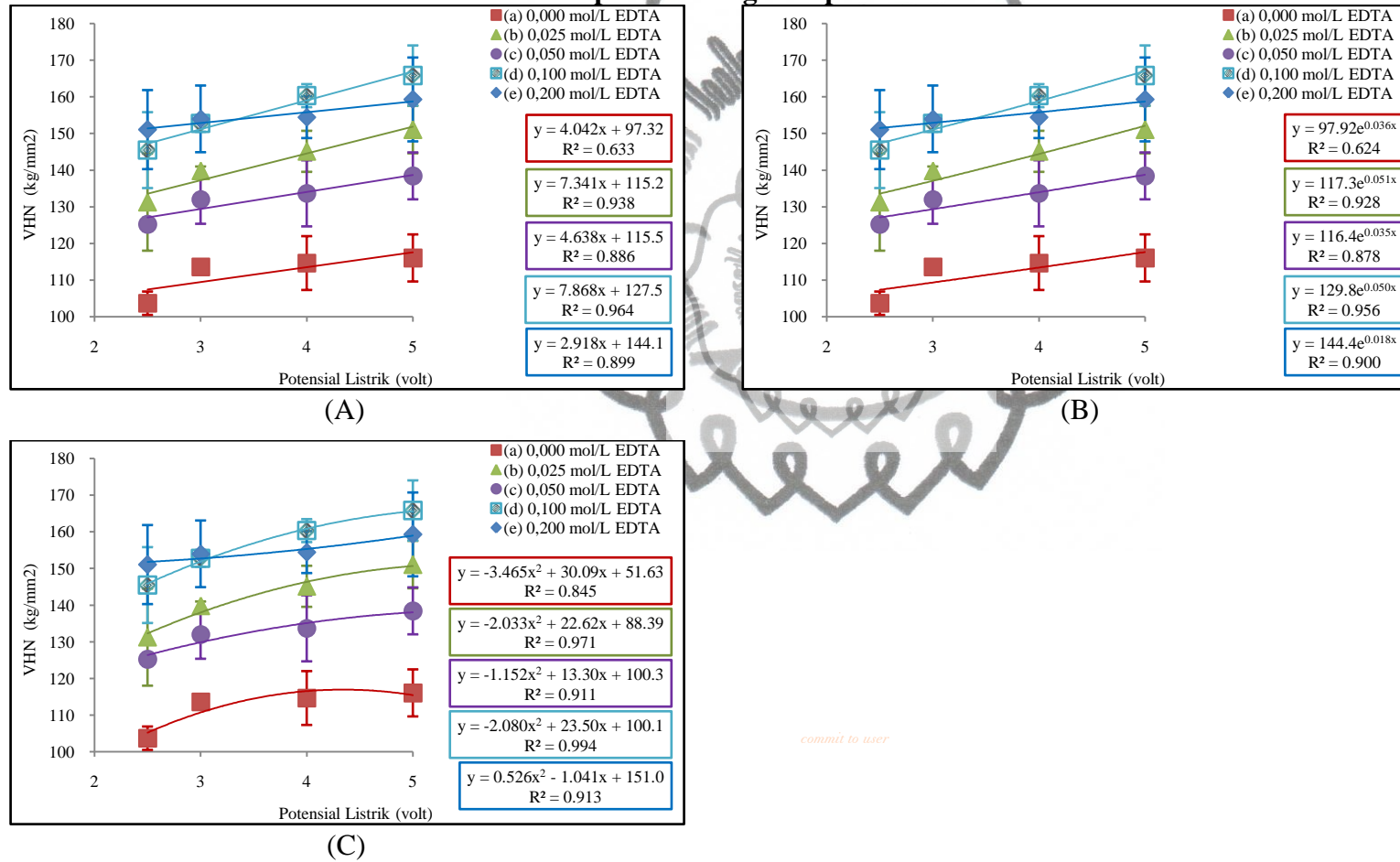
Keterangan:

V_μ : Potensial kerja optimum untuk ukuran butiran lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe (volt)

Gambar Lampiran 6. *Fitting Data dari Grafik Hubungan antara Konsentrasi EDTA terhadap V_μ pada berbagai Variasi Potensial Kerja: (A) Menurut Garis Linier; (B) Menurut Eksponensial; (C) Menurut Persamaan Kuadrat*

LAMPIRAN 14

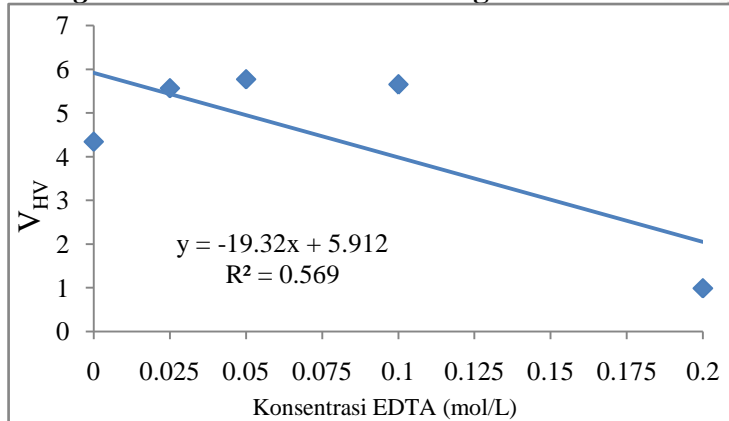
Fitting Data dari Grafik Hubungan antara Potensial Kerja pada berbagai Variasi Konsentrasi EDTA terhadap Kekerasan Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe



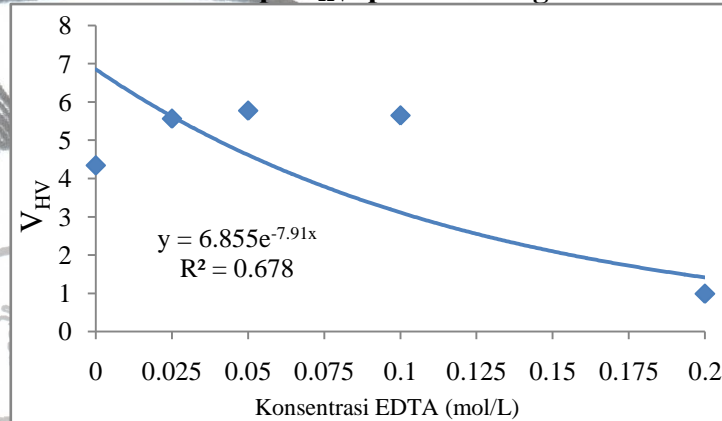
Gambar Lampiran 7. *Fitting Data dari Grafik Hubungan antara Potensial Kerja pada berbagai Variasi Konsentrasi EDTA terhadap Kekerasan Lapisan Plating Campuran Zn-Ni-Fe: (A) Menurut Garis Linier; (B) Menurut Eksponensial; (C) Menurut Persamaan Kuadrat*

LAMPIRAN 15

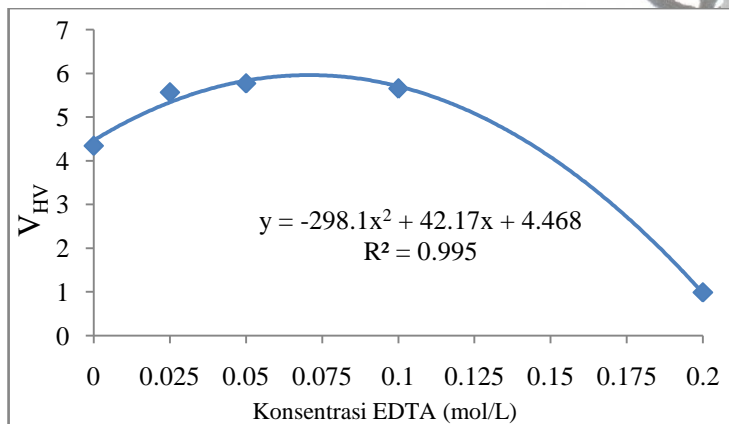
Fitting Data dari Grafik Hubungan antara Konsentrasi EDTA terhadap V_{HV} pada berbagai Variasi Potensial Kerja



(A)



(B)



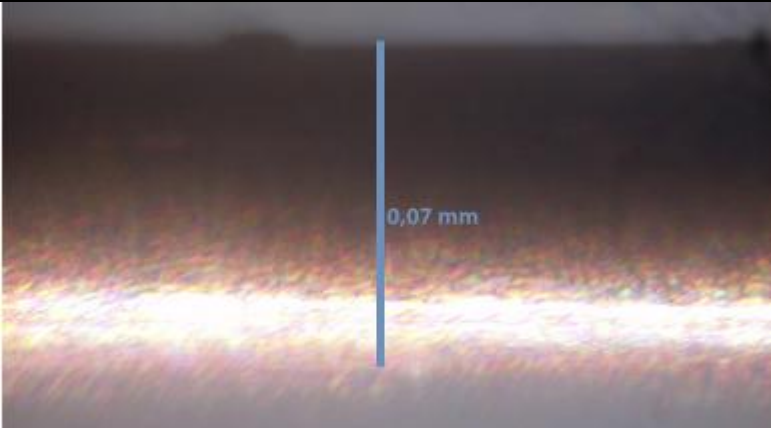
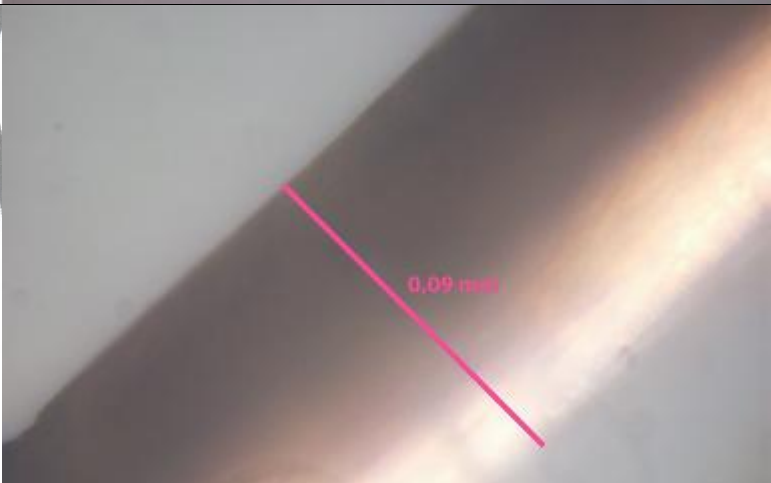
(C)

Keterangan:

V_{HV} : Potensial kerja optimum untuk kekerasan lapisan plating campuran Zn-Ni-Fe (volt)

Gambar Lampiran 8. *Fitting* Data dari Grafik Hubungan antara Konsentrasi EDTA terhadap V_{VH} pada berbagai Variasi Potensial Kerja: (A) Menurut Garis Linier; (B) Menurut Eksponensial; (C) Menurut Persamaan Kuadrat

Gambar Lampiran 9.
Foto Mikroskop Benda Standar untuk Standarisasi Mikroskop

Benda standar	Foto mikroskop
1.	
2.	
3.	